Anno XXVI - N. 6 - Giugno 1981 - Lire 1.000

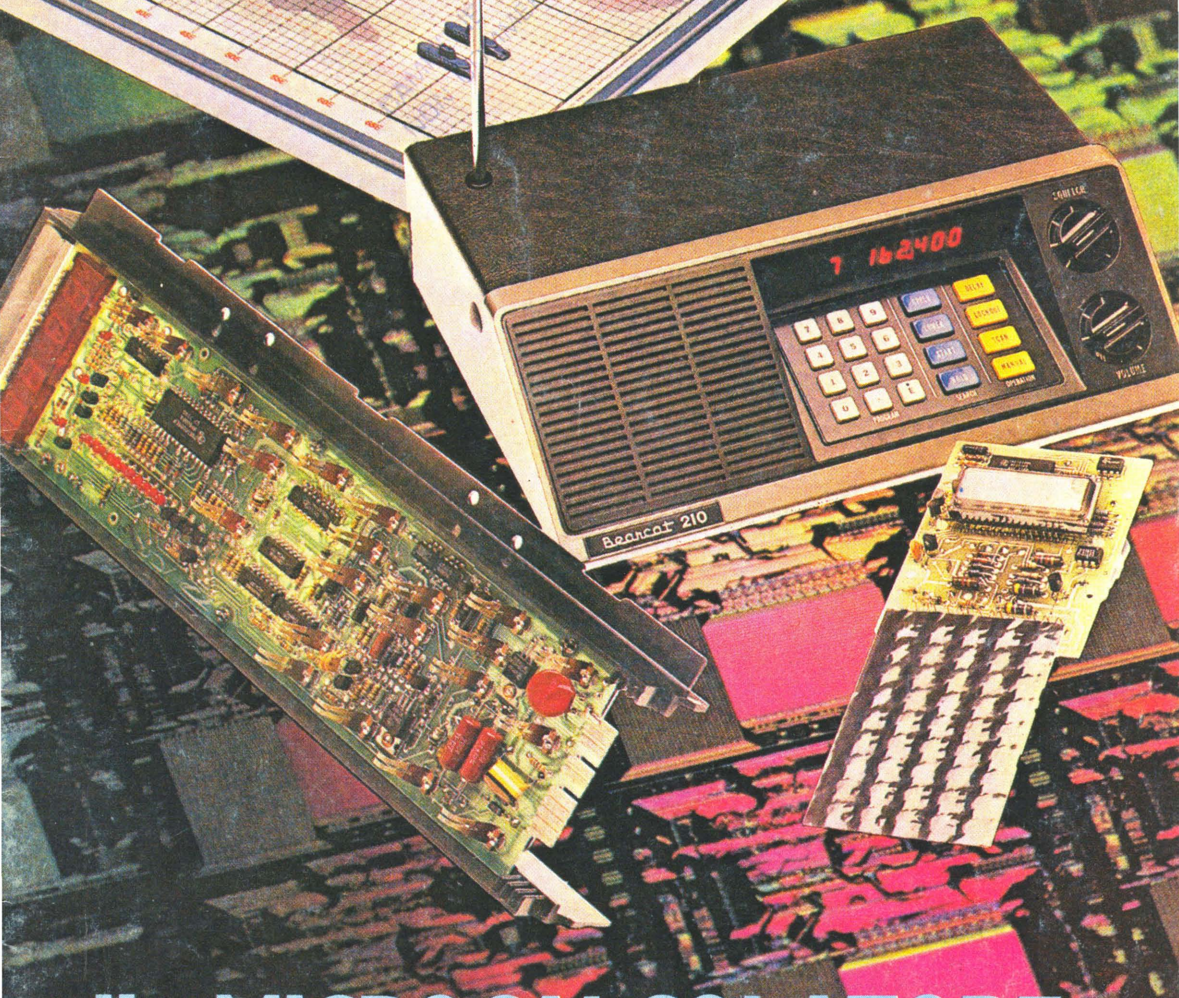
RADIORAMA

RIVISTA MENSILE EDITA DALLA SCUOLA RADIO ELETTRA
IN COLLABORAZIONE CON POPULAR ELECTRONICS

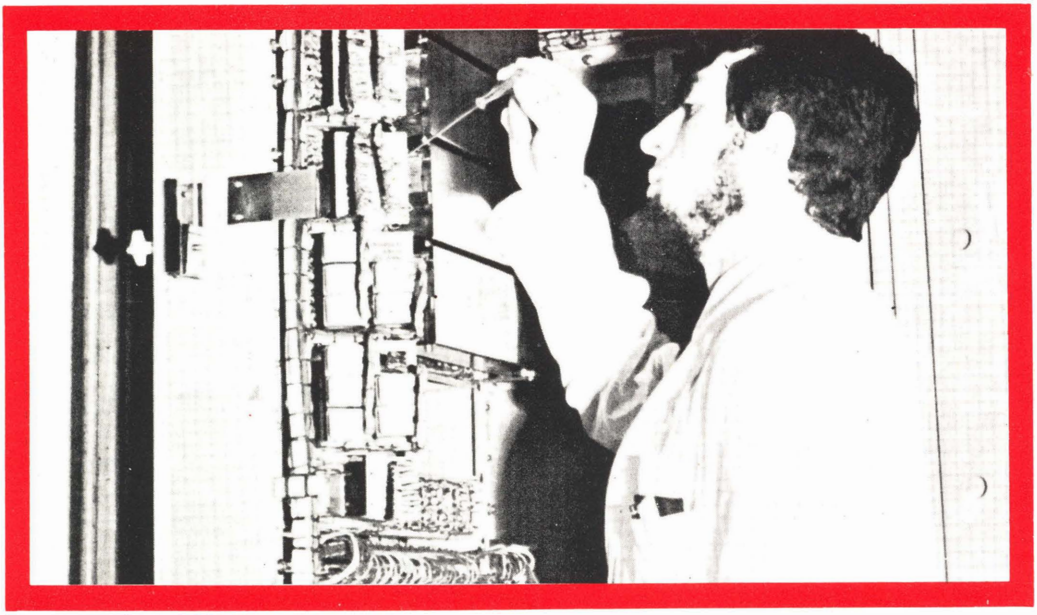
Alimentatore di precisione per il banco di lavoro

Riferimenti di precisione per tensione e corrente

Musica al calcolatore elettronico



IL MICROCALCOLATORE



RADIORAMA

RIVISTA MENSILE DIVULGATIVA CULTURALE DI ELETTRONICA RADIO E TELEVISIONE
EDITA DALLA SCUOLA RADIO ELETTRA IN COLLABORAZIONE CON POPULAR ELECTRONICS

SOMMARIO

RADIORAMA N. 6

Anno XXVI -
Giugno 1981
Prezzo: L. 1.000

Direzione - Redazione
Amministrazione -
Pubblicità:
Radiorama, via Stellone 5,
10126 Torino,
Tel. (011) 674.432
(5 linee urbane)

TECNICA INFORMATIVA

Il microcalcolatore 4
Laboratorio test:
— *Preamplificatore C-4000 della Carver* 22
— *Giradischi semiautomatico Philips AF877* 28
Riferimenti di precisione per tensione e corrente 40
Musica al calcolatore - Parte 1a 54

TECNICA PRATICA

Alimentatore di precisione per il banco di lavoro 14
Pulsatore ad alta corrente per LED 32
Controllo della potenza continua con la modulazione a larghezza d'impulsi 46
Segnapunti elettronico per sale da gioco 60

LE NOSTRE RUBRICHE

L'angolo dello sperimentatore 34
Panoramica stereo 50
Buone occasioni 64

6

GIUGNO 1981

DIRETTORE RESPONSABILE: Vittorio Veglia.

DIRETTORE AMMINISTRATIVO: Tomasz Carver.

REDAZIONE: Guido Bruno, Gianfranco Flecchia, Cesare Fornaro, Francesco Peretto, Sergio Serminato, Antonio Vespa.

IMPAGINAZIONE: Giovanni Lojacono, Giorgio Bonis, Adriana Piovano

SEGRETARIA DI REDAZIONE: Rinalba Gamba.

SEZIONE TECNICA COSTRUTTIVA: Scuola Radio Elettra - Popular Electronics.

SEZIONE TECNICA INFORMATIVA: Consolato Generale Britannico; EIBIS - Engineering in Britain; IBM; IRCI - International Rectifier; ITT - Components Group Europe; Philips; S.G.S. - Società Generale Semiconduttori; Siemens.

HANNO COLLABORATO A QUESTO NUMERO: Lorenzo Baiardi, Renata Pentore, Claudio Panero, Angiola Gribaudo, Giuseppe De Martino, Ida Verrastro, Lorenzo Sartoris, Adriana Bobba, Gabriella Pretoto, Mario Durando, Angela Valeo, Filippo Bosso, Andrea Venditti, Giuseppe Picollo

 ● Pubblicazione autorizzata con numero 1096 dal Tribunale di Torino ● Spedizione in abbonamento postale, gruppo III ● Stampa effettuata dalle Edizioni Piemonte S.p.A., via Marconi, 36 - 12049 Trinità (Cuneo) ● Pubblicità RADIORAMA, via Stellone 5, 10126 Torino ● Distribuzione nazionale Diemme Diffusione Milanese, via Taormina 28, tel 68.83.407 - 20159 Milano ● RADIORAMA is published in Italy ● Prezzo del fascicolo: L. 1.000 ● Abbonamento semestrale (6 fascicoli): L. 5.500 ● Copie arretrate, fino ad esaurimento, L. 1.000 il fascicolo ● In caso di aumento o diminuzione del prezzo degli abbonamenti verrà fatto il dovuto conguaglio ● I versamenti per gli abbonamenti e le copie arretrate vanno indirizzati a: SCUOLA RADIO ELETTRA S.p.A. - Redazione RADIORAMA, via Stellone 5, 10126 Torino (assegno circolare o bancario o cartolina-vaglia), oppure possono essere effettuati sul C.C.P. n. 17742107, Torino.

Da non molto tempo i tecnici si stanno interessando sempre piú a quello che potrà probabilmente essere considerato il piú significativo passo avanti nella tecnologia dei semiconduttori dai tempi dell'invenzione del transistore: il microcalcolatore su singola piastrina di silicio, contenuto cioè in un unico circuito integrato. Questo dispositivo ha stimolato ed accresciuto l'interesse verso l'elettronica, portandolo ad un livello raramente raggiunto in precedenza. Sono ancora pochi coloro che hanno compreso a fondo quali saranno le conseguenze della comparsa dei microcalcolatori in singolo circuito integrato. La tecnologia della microelettronica si evolve cosí rapidamente che diviene impossibile, anche per coloro che sono coinvolti in prima persona, cogliere in pieno il suo significato, poiché di continuo l'attenzione è distratta da altre novità. Se però il potenziale utente non ha una sufficiente comprensione della profondità e della portata potenziale di questi cambiamenti tecnologici, finisce per recepirli solo come fatti che aumentano la confusione invece che come innovazioni pratiche.

Riuscire a comprendere come la rivoluzione che avviene in questo campo si evolva nel tempo sarà di grande aiuto per prevedere con maggior chiarezza le future possibilità di sviluppo.

La prima rivoluzione - Piú di 25 anni or sono fu annunciata una importante invenzione: si trattava di una scatoletta, realizzata secondo la tecnica dello "stato solido" e che conteneva il primo ricevitore a transistori. Queste radio rappresentavano la prima applicazione di massa del transistore al germanio, inventato intorno al 1950 presso i Bell Laboratories; a quel tempo i prezzi dei transistori erano scesi da 16 dollari a 2,5 dollari.

Un altro importante passo avanti nella tecnologia dei transistori era stato annunciato qualche mese prima. Alla riunione della "National Conference of Airborne Electronics" (Conferenza Nazionale sull'elettronica di bordo per aerei), Gordon Teal della Texas Instruments era il penultimo oratore in programma. Il titolo della sua relazione era "Alcuni nuovi e recenti sviluppi nel Germanio e nel Silicio"; ignorando il contenuto di questa relazione, gli oratori precedenti, uno dopo l'altro, avevano predetto che la tecnologia per produrre cristalli di silicio con purezza sufficiente per costruire dispositivi a semiconduttore non sarebbe stata disponibile se non tra qualche anno. Teal disse invece, stupendo tutto il pubblico: "Contrariamente alle credenze comuni sulla possibilità di costruire transistori al silicio, ho proprio alcuni di questi dispositivi nelle mie tasche".

Sono questi gli eventi che diedero inizio alla prima rivoluzione nell'elettronica dello stato solido: non solo il transistore poteva essere prodotto in grande quantità, ma i problemi di temperatura insiti nel germanio erano stati risolti grazie all'uso del silicio. Ciò permise alla giovane industria aerospaziale di cercare alternative agli ingombranti, costosi e poco affidabili tubi elettronici che ingombravano gli aerei sin dagli anni precedenti alla seconda guerra mondiale.

La seconda rivoluzione - Nel novembre del 1958 Jack S. Kilby, della Texas Instruments, mostrò al pubblico un nuovissimo dispositivo a semiconduttore che per la prima volta incorporava piú di un transistore, di un resistore e di un condensatore su un'unica piastrina di silicio. Il circuito integrato eliminava la necessità di una gran quantità

IL MICROCALCOLATORE

Una rivoluzione in continua evoluzione è in atto nell'elettronica per il largo consumo

di dispositivi separati e le numerosissime interconnessioni elettromeccaniche che questi richiedevano; esso ha cosí spianato la via ad una gran quantità di apparecchi destinati al mercato del largo consumo, meno costosi e piú affidabili.

I primi circuiti integrati prodotti nel 1962 erano destinati all'aeronautica americana ed erano dispositivi relativamente semplici, ciascuno dei quali conteneva da due a quattro gruppi di elementi attivi. Il Gruppo di Elementi Attivi (brevemente indicato con la sigla AEG) è l'unità di misura della complessità circuitale e coincide con una porta logica, un bit di memoria od un singolo stadio di amplificazione.

La commercializzazione di questa rivoluzionaria tecnologia portò ad un continuo aumento del numero di AEG raggruppati su un'area sempre piú ridotta. A titolo di confronto basti pensare che un AEG con tubo a vuoto degli anni '50 occupava circa 25 cm^2; un AEG a transistori all'inizio degli anni '60 occupava solo 4,5 cm^2; passando prima dalla integrazione su piccola scala (SSI) all'integrazione su media scala (MSI) con piú di 100 AEG per piastrina e poi all'integrazione su larga scala (LSI) con piú di 1.000 AEG per piastrina, la superficie media di un AEG è stata ridotta a 3 milionesimi di centimetro quadrato, con conseguente notevole riduzione di costi.

Uno dei principali sviluppi che hanno contribuito al progresso della tecnologia LSI è stato il passaggio dai dispositivi bipolari ad una configurazione unipolare denominata Metallo-Ossido-Semiconduttore (MOS). Con i dispositivi bipolari era molto difficile ottenere elevate densità di componenti e le dimensioni delle piastrine su cui realizzare i circuiti integrati erano limitate dai problemi della dissipazione del calore e della bassa resa in produzione. La tecnologia MOS, che fa uso di un solo tipo di portatori di cariche anziché di due, consente una maggiore concentrazione di componenti, un minor consumo di energia e richiede minori passi nel processo di produzione. Questi vantaggi sono però ottenuti a spese della velocità di funzionamento.

Uno dei primi risultati dovuti al perfezionarsi della tecnologia MOS/LSI fu la calcolatrice portatile realizzata nel 1967; questa prima calcolatrice miniaturizzata misurava solo 10,5 x 15,5 x 4,5 cm ed aveva come "cuore" un insieme di circuiti integrati che contenevano tutta l'elettronica necessaria per eseguire addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni.

La tecnologia PMOS (MOS a canale positivo) unita alla grande richiesta di calcolatori a basso costo portò diversi costruttori ad intraprendere lo sviluppo di un circuito integrato per calcolatore. La Intel Corporation fu una delle ditte che decisero di progettare un microprocessore programmabile e molto versatile costruito in un unico circuito integrato, da usarsi, insieme ad altri circuiti integrati, per realizzare un minicalcolatore; messo in commercio nel 1972 il microprocessore Intel 4004 elaborava blocchi di 4 bit ciascuno. Meno di un anno dopo, la National Semiconductor, la Rockwell International e la Fairchild Semiconductor lanciarono sul mercato microprocessori capaci di elaborare blocchi di 8 bit, contenenti dai cinquemila ai diecimila transistori.

Per chiarire meglio il concetto, ricordiamo che un microprocessore è l'Unità Centrale di Elaborazione (o CPU, cioè Central Processing Unit) di un calcolatore; se ad essa si aggiungono una memoria, un generatore di temporizzazione (clock) e circuiti di ingresso/uscita si ottiene un minicalcolatore. Se si completa l'insieme con un alimentatore, dispositivi di interfaccia, visualizzatori e dispositivi di controllo, nonché con un gruppo di programmi (cioè il cosiddetto "software") si ottiene un sistema minicalcolatore che funziona nel vero senso della parola come un calcolatore elettronico.

La terza rivoluzione - Il successivo evento rivoluzionario nella tecnologia microelettronica si verificò all'inizio del 1971, quando due tecnici della Texas Instruments svilupparono il primo microcalcolatore su un unico circuito integrato. In questo dispositivo erano racchiusi piú di ventimila transistori e tutti gli altri componenti necessari per i diversi organi di un calcolatore, tutti raggruppati su una piastrina di silicio dello spessore di pochi decimi di millimetro e con una superficie di circa due centimetri quadri. Il numero di componenti necessari per realizzare un calcolatore scendeva in questo modo pressappoco al rapporto di 10 a 1, con una conseguente notevolissima diminuzione del costo.

Il piccolo calcolatore su singolo circuito integrato aveva una capacità di calcolo di 4 bit ed era in grado di eseguire automaticamente una vasta gamma di operazioni complesse. Sulla piastrina erano sistemati: (1) l'unità logico-aritmetica (ALU) che effettua le operazioni fondamentali sui dati ed il controllo decisionale; (2) la memoria per immagazzinare sia istruzioni di programma sia dati che il calcolatore deve elaborare; (3) i circuiti di controllo e di temporizzazione che provvedono a richiamare le istruzioni dalla memoria e ad indirizzarle verso le parti del sistema che dovranno eseguirle, nel dovuto ordine e con la dovuta cadenza; (4) i sottosistemi di ingresso e di uscita che permettono al calcolatore di comunicare con il mondo esterno.

Durante il processo di fabbricazione della piastrina di silicio, il programma, preparato in base alle specifiche di quello che dovrà essere il sistema finale, è inserito nella memoria mediante una tecnica di mascheratura ad un solo livello che programma tre diverse parti del microcalcolatore: la ROM, il decodificatore di istruzioni ed il codificatore d'uscita. Questi tre organi programmati effettuano l'azione di controllo sui dati che entrano nell'unità centrale di elaborazione, l'elaborazione dei dati stessi e la codifica dei dati in uscita, cosí da soddisfare i requisiti del sistema. I singoli elementi elettronici contenuti nel microcalcolatore hanno di-

Lo sviluppo dei microcalcolatori su singolo circuito integrato, quale il TMS1000, ha portato alla realizzazione di generi di prodotti completamente nuovi, quali i giocattoli ed i giochi elettronici, gli elettrodomestici programmabili ed i radioricevitori con scansione automatica.


COMBAT INFORMATION CENTER
Bearcat 210

mensioni dell'ordine dei micron; è cosí possibile che un'enorme capacità di lavoro sia concentrata su un'area pari ad un terzo di centrimetro quadrato. Ciò che è veramente importante non è però tanto il fatto che si sia ottenuto un cosí elevato grado di miniaturizzazione, ma che si siano realizzati sostanziali abbassamenti dei costi di produzione sia dell'elettronica sia dei sistemi completi, accompagnati anche da un sostanziale aumento dell'affidabilità. Per esempio, una famiglia di dispositivi molto usata composta da quattro serie di dispositivi a 4 bit sviluppatasi a partire dal primo microcalcolatore offre un'affidabilità superiore allo 0,05% per 1.000 ore, il che equivale a meno di un guasto su duecentodieci anni.

Con un notevole miglioramento nel costo e nell'affidabilità rispetto ai sistemi composti da un microprocessore ed altri circuiti LSI cablati tra loro, il microcalcolatore sta rivoluzionando i sistemi di controllo numerici. L'effetto piú evidente si è avuto nell'elettronica destinata al mercato di massa per il quale sono divenuti tecnicamente ed economicamente realizzabili tipi di prodotti completamente nuovi.

Le migliori radio a transistori degli anni '70 offrivano già la scansione automatica della banda di frequenza accompagnata dall'indicazione numerica della frequenza.

Le calcolatrici sono oggi capaci di lavorare su un gruppo veramente completo di funzioni scientifiche e tecniche con un prezzo che è del 90% piú basso rispetto a quello che avevano sino a pochi anni or sono.

I forni a microonde sono oggi divenuti programmabili grazie all'uso del microcalcolatore; lo stesso accade per le lavatrici, i frullatori, le macchine per la preparazione dei cibi, le automobili, i sintonizzatori per TV, i sistemi antifurto o di sicurezza e persino i giocattoli per bambini.

Senza esagerare, si può affermare che il microcalcolatore ha reso reali cose che per molto tempo sono appartenute solo al campo della fantascienza. Il microcalcolatore, il microprocessore ed i circuiti logici LSI realizzati su specifiche del commitente sono il risultato dei progressi tecnologici estremamente rapidi che continuano a manifestarsi nell'industria dei semiconduttori. Vi è inoltre ragione di credere che questo rappresenti solo un inizio e che la crescente complessità dei nuovi dispositivi sia accompagnata da una proporzionale riduzione dei costi.

Dove si arriverà? - Se ciò che è accaduto negli ultimi dieci anni può essere preso come una valida indicazione, le possibilità future sono virtualmente illimitate ed è ben difficile fare previsioni in termini specifici; la tecnologia si sta infatti sviluppando in una maniera tale come poche persone prevedevano anche solo alcuni anni or sono.

Un buon esempio è offerto dall'industria dei giocattoli, la rivoluzione della microelettronica ha investito il campo dei giocattoli piú di ogni altro, da quando le batterie hanno sostituito i meccanismi a molla. All'inizio i fabbricanti erano alquanto esitanti sull'opportunità di entrare nel campo dei giocattoli elettronici; nel 1977 però alcune case costruttrici di giocattoli misero cautamente in vendita la prima generazione di giochi elettronici, e da allora il loro mercato ebbe una espansione addirittura esplosiva; neanche il piú ottimista degli osservatori industriali avrebbe previsto il successo di massa dei giocattoli e dei giochi elettronici verificatosi da quel momento.

Anche in altri campi la velocità con cui l'uso dei nuovi dispositivi si estende rende virtualmente impossibile predire con precisione l'influenza del microcalcolatore sui prodotti e servizi destinati al largo consumo; stanno però emergendo alcune tendenze in base alle quali si può avere una generica indicazione degli sviluppi in atto.

La maggior parte delle applicazioni avutesi negli ultimi anni non rappresenta altro che un adattamento relativamente semplice della tecnologia dei calcolatori (come l'aggiunta di un pannello o di una tastiera di comando elettronico) a prodotti esistenti; recentemente tuttavia sono comparsi concetti interamente nuovi e si sono realizzati prodotti che non sarebbero realizzabili, od almeno problematici da realizzare, senza l'aiuto del microcalcolatore.

Il termometro numerico è uno di questi prodotti; un dispositivo a semiconduttore molto semplice, il termistore, viene impiegato per rivelare un cambiamento di temperatura, attraverso la variazione della sua resistenza elettrica. La variazione di resistenza in funzione della temperatura, sia per i termistori con coefficiente di temperatura negativa sia per quelli con coefficiente positivo, segue però leggi complesse simili a quella logaritmica. E' però possibile selezionare un campo di temperature piuttosto stretto, ad esempio per applicazioni cliniche, ed aggiun-

gere quindi diversi resistori in derivazione per linearizzare la curva. I segnali linearizzati possono essere poi convertiti in una indicazione numerica, ma tutto ciò limita le applicazioni di un simile termometro e tende a portare il suo prezzo al di sopra dei limiti accettabili dal mercato.

Una soluzione molto piú conveniente per quanto riguarda il costo è quella adottata dalla Electro-medics, una ditta di Denver nel Colorado (USA). I progettisti di questa casa hanno messo a punto un algoritmo che definisce la curva temperatura-resistenza del termistore memorizzandola nel microcalcolatore ed usandola poi per passare dalla grandezza analogica all'indicazione numerica. Il risultato è un termometro che può lavorare su un'ampia gamma di temperature e che può servire a moltissime applicazioni, offrendo una precisione di 0,1 gradi. Grazie al microcalcolatore è cosí possibile misurare la temperatura di un paziente in un decimo del tempo richiesto in precedenza, con maggiore precisione, senza il costo aggiuntivo dovuto al rischio di rottura del termometro e senza l'errore umano, sempre possibile quando si deve leggere il valore indicato da un termometro di vetro.

Un nuovo organo elettronico recentemente lanciato sul mercato dalla Kenner Products, di Cincinnati nell'Ohio (USA), è un altro tipico esempio di prodotto la cui realizzazione è resa possibile dal microcalcolatore. Questo organo, denominato Play 'N Playback, grazie all'uso di un microcalcolatore TMS1000 a 4 bit, contenuto in un solo circuito integrato, consente ai bambini in età prescolare di ascoltare una tra otto canzoni programmate nella memoria, nonché di suonare, memorizzare e riprodurre canzoni di loro composizione o lette sullo spartito che accompagna l'organo stesso.

Per coloro che hanno lavorato a lungo con ronzatori meccanici ed elettromeccanici, campanelli e fischietti, l'idea di una piccola scheggia di silicio che parla od esegue musica sembra incomprensibile. In passato, quando era necessario ottenere effetti sonori, venivano usati dispositivi composti da molti componenti a semiconduttori per ottenere una varietà alquanto limitata di suoni. I prodotti cosí costruiti presentavano però problemi derivanti dalle tolleranze dei componenti e dall'elevato costo di progetto e costruzione.

I possibili circuiti integrati realizzati su specifiche dell'utente non erano una soluzione conveniente per generare questi effetti sonori, poiché non esisteva la possibilità di una programmazione esterna; se il suono non era quello voluto o non era soddisfacente, il circuito doveva essere riprogettato ed il primo dispositivo sviluppato doveva essere eliminato. Un altro grosso problema con i circuiti per effetti sonori sviluppati su richiesta del cliente stava nel fatto che essi erano limitati ad una sola applicazione ed era necessaria perciò una produzione in quantitativi elevati per ammortizzare i costi di sviluppo.

Il microcalcolatore è stato il passo tecnologico che ha aperto la porta al mercato dei generatori di suoni a bassa frequenza; un microcalcolatore può infatti servire di per sé a questo scopo, o venire usato per comandare i piú svariati circuiti generatori di suoni. Da solo un microcalcolatore può generare soltanto onde quadre; questo è possibile tenendo un'uscita per qualche istante nello stato logico superiore, passando per qualche istante in quello inferiore, ritornando a quello superiore, e cosí via. Questo processo genera un'onda quadra che si rivela acusticamente accettabile per la maggior parte delle applicazioni in bassa frequenza. Per creare invece toni piú puri, quali le note suonate dagli strumenti musicali, l'onda quadra deve essere rimodellata al di fuori del microcalcolatore, ad esempio con la semplicissima aggiunta di un resistore e di un condensatore all'uscita.

I toni musicali non sono però l'unico genere di suono che si può creare con un microcalcolatore. Il nuovo gioco elettronico, creato dalla Marx Electronic e denominato 300 Bowling Game, è un gioco da tavolo comandato da un microcalcolatore che simula tutti i movimenti ed i rumori propri del gioco del "bowling". Il cervello dell'apparecchio è un microcalcolatore a 4 bit che fa accendere lampadine che rappresentano i birilli e comanda un indicatore a LED che segnala il punteggio raggiunto; inoltre esso riceve i dati d'ingresso da quattordici interruttori strategicamente sistemati sulla corsia di gioco e comanda un circuito sonoro che imita il rumore dei birilli che cadono. Quest'ultimo effetto è ottenuto generando un tono a bassa frequenza e facendo poi smorzare il suono mediante componenti esterni; il rumore dei birilli che cadono è poi ottenuto raggruppando insieme diversi di questi suoni, in modo da rappresentare il numero di birilli

colpiti.

Per applicazioni che richiedono effetti sonori piú complicati od a frequenze piú alte, il microcalcolatore può essere usato per fornire i segnali di comando ad un generatore di suoni piú complesso, contenuto in un altro circuito integrato, che imita le sirene, il fischiare dei missili, le esplosioni, il cinguettio degli uccelli ed una gran quantità di altri effetti sonori. I circuiti integrati piú perfezionati possono generare suoni assai complicati, composti anche da tre diversi toni, rumore casuale o diverse combinazioni di queste componenti, con tempi di attacco ed estinzione indipendenti.

Se si sfruttassero la velocità e la capacità di elaborazione di un microcalcolatore a 16 bit, quale il TMS9940, sarebbe anche possibile insegnare a parlare al circuito generatore di suoni SN76489, ovviamente con un vocabolario alquanto limitato, ma perfettamente adeguato ad una varietà di circuiti per annunci; si potrebbe, ad esempio, pensare di completare i sistemi di sorveglianza aventi lo scopo di evitare collisioni tra aerei con la capacità di dare un avvertimento a voce; cosí, invece che luci fisse o lampeggianti, il cui significato deve ogni volta essere interpretato dal pilota dell'aereo, si udrebbe una voce che diffonde l'avvertimento voluto. In futuro, grazie alla capacità di riconoscimento della voce di cui verranno dotati questi sistemi per il controllo del volo, essi potranno anche agire in base a comandi dati a voce.

Le applicazioni domestiche dei microcalcolatori sono state in genere limitate alla cucina; in un prossimo futuro si vedranno diverse applicazioni nel campo delle telecomunicazioni e degli elettrodomestici.

Sistemi per la combinazione automatica dei numeri telefonici e per la risposta automatica al telefono scenderanno presto, grazie all'uso dei microcalcolatori, a prezzi accessibili e sostituiranno i telefoni normali, proprio come negli Stati Uniti i telefoni a tastiera stanno sostituendo quelli a disco. Gli usi del telefono avranno cosí probabilmente una notevole espansione, poiché l'utente potrà fare le sue operazioni bancarie, pagare le fatture ed inviare o ricevere informazioni scritte sulla linea telefonica. Il "segreto" di questo nuovo uso del telefono starà nella larga diffusione dei calcolatori per uso personale.

Negli anni '60, i dilettanti appassionati di elettronica si cimentavano nella progettazione e nella costruzione di apparecchiature audio "perfette"; la sempre piú vasta diffusione di questo hobby ha portato alla commercializzazione ed alla produzione in massa su vasta scala di questi perfezionati apparecchi, portandoli ad essere disponibili a prezzi relativamente bassi.

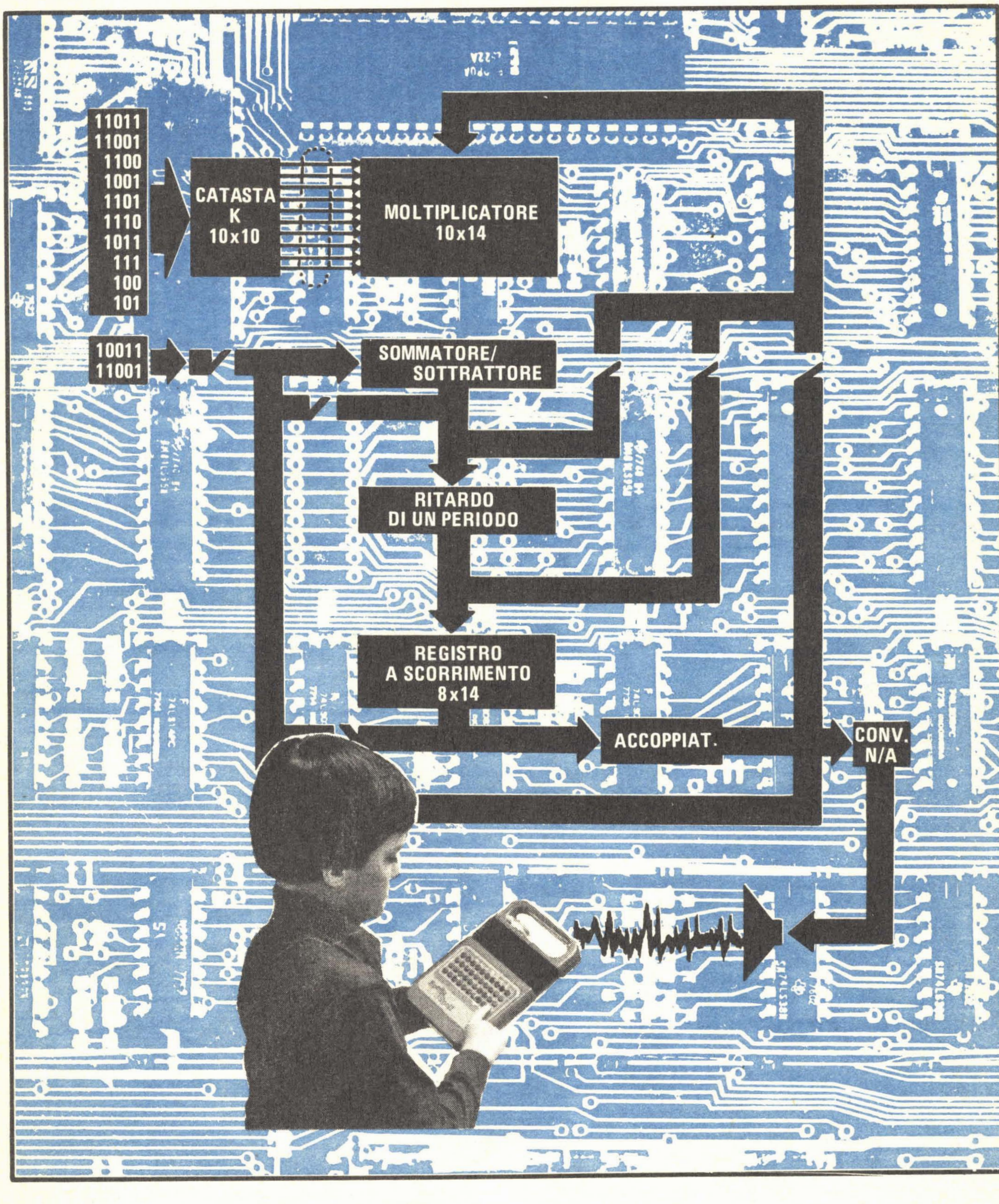
Negli anni '70, i dilettanti hanno cominciato a rivolgere la loro attenzione ai calcolatori. Sviluppare giochi ed altri programmi del genere sui calcolatori nati per usi professionali era un tempo il passatempo preferito dagli esperti di calcolatori e dai matematici; quando i moduli a microcalcolatore cominciarono ad essere facilmente reperibili, chi aveva l'hobby di lavorare con il calcolatore cominciò a spostare la sua attività sui microcalcolatori. Come accadde con i sistemi stereofonici per alta fedeltà, i fabbricanti di apparecchiature elettroniche hanno preso nota di questo allargamento dell'interesse sviluppando una prima serie di calcolatori personali appositamente per i dilettanti e successivamente sempre nuovi prodotti, per un mercato che si estende ogni giorno di piú.

Sono oggi disponibili calcolatori per uso domestico il cui uso non richiede esperienza in calcolatori o conoscenza delle tecniche di programmazione. I programmi sono infatti contenuti in apposite ROM (memorie a sola lettura) che debbono soltanto essere inserite nel calcolatore, proprio come le cassette per i diversi giochi vengono inserite negli apparecchi per video-giochi nati nella metà degli anni '70.

Si prevede che in un prossimo futuro il calcolatore per uso personale sarà uno dei tanti congegni destinati a semplificare e ad espandere la capacità di comunicazione all'interno delle abitazioni. Mediante un'interfaccia standardizzata, esso si collegherà al telefono, cosí da dare all'utente i vantaggi di una comunicazione audio e visiva automatizzata. Posta elettronica, giornali elettronici e comunicazioni automatiche diverranno servizi di uso comune. Con un'opportuna interfaccia all'impianto elettrico di casa, sarà possibile effettuare un controllo sull'energia consumata e comandare automaticamente le piú svariate apparecchiature elettriche.

Il microcalcolatore renderà anche accessibili a tutti i sistemi antifurto ed antiincendio perfezionati.

I sistemi antifurto riveleranno la presenza di un eventuale intruso ed indicheranno il



Sullo sfondo di una microfotografia del circuito integrato per sintesi della voce TMC0280 compare lo schema a blocchi del sistema, basato su una codifica a predizione lineare, utilizzato nell'apparecchio "Speak and Spell" della Texas Instruments.

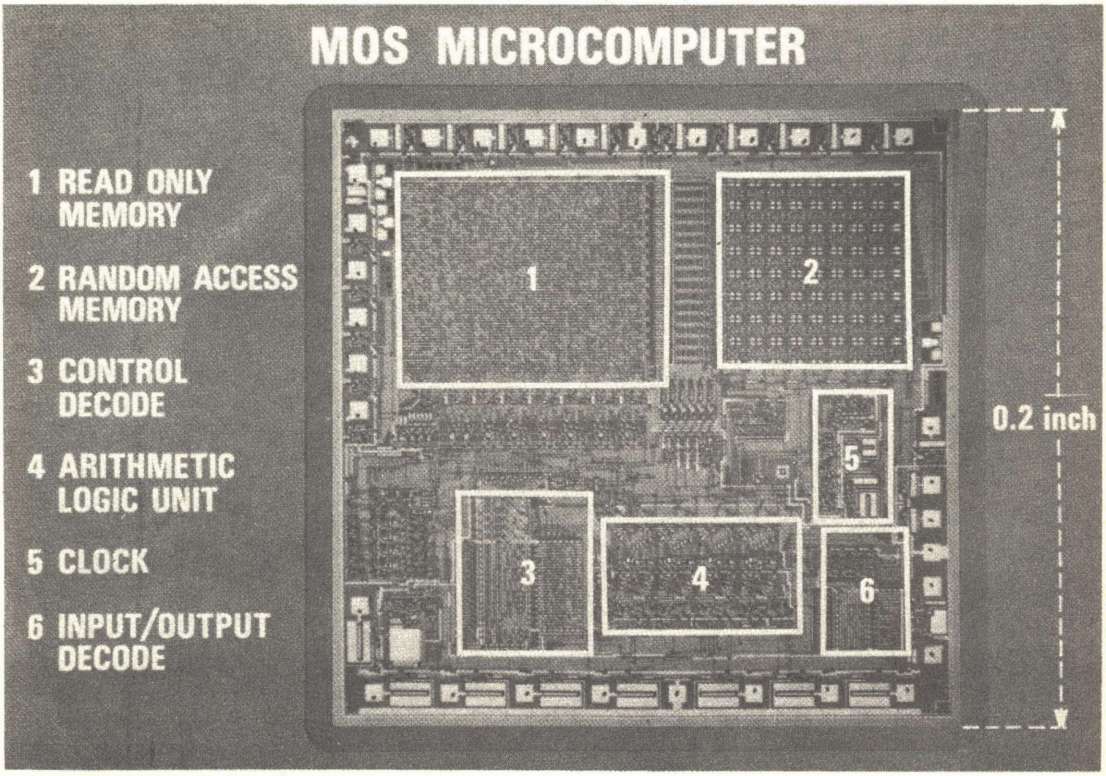


Foto di un circuito integrato per microcalcolatore su cui sono indicate le principali aree funzionali

punto in cui si è introdotto; questa informazione comparirà su un monitor video sia al proprietario di casa sia alla centrale di polizia.

Gli allarmi antiincendio riveleranno la localizzazione dell'incendio, calcoleranno la sua intensità e la sua velocità di sviluppo e metteranno in allarme gli occupanti dell'abitazione indicando loro la via piú sicura per uscire dall'edificio; provvederanno inoltre a segnalare l'incendio alla locale sezione dei pompieri, fornendo eventuali dettagli su un monitor video.

Tutti vorrebbero avere un tosaprato, comandato da un microcalcolatore, che, spinto una volta sul prato lungo il cammino voluto, sia in grado di seguire poi da solo lo stesso percorso. Con la semplice aggiunta di un radiocomando esso potrebbe anche essere programmato in modo da uscire da solo dalla rimessa ed iniziare il lavoro.

Anche l'automobile non si sottrarrà al dominio del microcalcolatore; in alcuni dei modelli piú lussuosi questo è già oggi una realtà. Un microcalcolatore terrà sotto controllo i freni per rendere eguale la frenata sulle diverse ruote e minimizzare il rischio che queste slittino sull'asfalto; lo stesso microcalco-

latore controllerà il funzionamento del motore per ridurre al minimo l'emissione di gas incombusti ed ottenere il massimo risparmio. Grazie ai piú recenti progressi nella sintesi vocale, è prossimo il giorno in cui l'automobile stessa "dirà" al guidatore che sta per mancare la benzina o che la pressione dell'olio è vicina al limite minimo.

Il microcalcolatore ha oggi appena incominciato a sfruttare l'immenso potenziale che esiste nel campo della istruzione; apparecchi di aiuto agli insegnanti elementari, quali il "Little Professor" (Piccolo Professore) ed il "Speak & Spell" (Parla e Scrivi) entrambi della Texas Instruments, con altri apparecchi simili, hanno trovato larga diffusione negli Stati Uniti in qualità di semplici apparecchi, portatili ed a basso costo, che aiutano a rendere divertente lo studio. I calcolatori sono stati resi adatti a lavorare nelle classi scolastiche per aiutare ad insegnare non solo i fondamenti dell'aritmetica ma anche l'uso della matematica di per sé, intesa come linguaggio universale.

Gli insegnanti e gli studenti hanno dato una risposta entusiasta a questi ausili didattici basati sul calcolatore, tanto che si stanno ora facendo studi per utilizzare la stessa tecnologia anche per altri argomenti. Non è certo molto lontano il momento in cui gli studenti useranno il calcolatore o materiali da esso prodotti per imparare a leggere e a scrivere, per apprendere la geografia, la storia e le lingue straniere. Questa scienza è ancora allo stato primordiale, ma è opinione generale che essa potrà dare risultati sorprendenti nel campo dell'istruzione ad ogni livello. I simulatori comandati da un calcolatore, per esempio, sono oggi apparecchi normalmente usati nelle scuole di pilotaggio; in futuro essi saranno probabilmente realizzati in forma compatta e quindi portatili e serviranno come aiuto all'istruzione nei campi piú disparati, dalle piú semplici operazioni commerciali al pronto soccorso, dalle lezioni di bridge alla manutenzione dei calcolatori.

Tra tutte le nuove caratteristiche si evolverà anche quella che è forse la piú importante: la facilità di programmazione. Una programmazione semplificata renderà facile l'uso dei calcolatori per compiti oggi impensabili. Una nuova affascinante area di sviluppo sta nella sintesi e nel riconoscimento automatico della voce. La tecnologia necessaria per far "parlare" gli apparecchi elettronici è oggi non solo acquisita, ma anche poco costosa, come è evidente dalla comparsa di apparecchi parlanti quali lo "Speak & Spell". Alcuni esperti di elettronica prevedono che il riconoscimento della voce sarà effettuabile a costi ragionevoli entro pochi anni. Per la metà degli anni '80, gli apparecchi elettronici saranno abbastanza intelligenti da condurre semplici conversazioni con l'utente. Uno tra i grandi sogni dell'uomo, la macchina che ascolta e risponde, è il prossimo obiettivo da raggiungere.

In un futuro non molto lontano, una massaia potrà inserire un arrosto surgelato nel forno a microonde prima di uscire per una giornata di compere; ad una certa ora poi potrà chiamare al telefono la propria casa e collegarsi al forno attraverso il calcolatore, ordinandogli di accendersi alle quattro del pomeriggio; il forno risponderà:" A quale temperatura?". Alcune ore piú tardi la massaia arriverà a casa e dirà alla porta di aprirsi; la serratura elettronica riconoscerà come autentica la voce della padrona di casa ed aprirà la porta. Poi, come la signora entrerà in casa, le luci si accenderanno al suo ingresso in ogni stanza, spegnendosi non appena la stanza viene abbandonata: tutto automaticamente. Ad un certo punto il forno potrà anche annunciare: "L'arrosto è pronto".

Benché tutto ciò possa sembrare fantascienza non lo è sicuramente: la tecnologia per comporre un sistema del genere è già disponibile, anche se per la produzione di massa si dovrà attendere qualche tempo. Ancora una volta, alla base di tutte queste possibilità sta l'evolversi della rivoluzione del microcalcolatore.

Verso la metà degli anni '60, Margaret Meade ha descritto la società come nel mezzo di una esplosione dell'informazione: una situazione in cui la tecnologia ha fornito la capacità di raccogliere, organizzare, immagazzinare e diffondere una enorme quantità d'informazione in modo molto piú veloce di quanto non si credeva fosse mai possibile in passato; l'uomo deve però ancora imparare a sintetizzare l'informazione. Questo è il grosso problema che ha oggi davanti a sé l'industria dell'elettronica per il largo consumo. Grazie alla microelettronica è oggi disponibile una grande quantità d'informazione, di prodotti e di possibilità; il "problema" per i costruttori che vogliono produrre qualcosa di nuovo è quello di fare una sintesi di queste informazioni per ideare prodotti sempre piú efficienti ed utili. ★

ALIMENTATORE DI PRECISIONE per il banco di lavoro

È regolabile da 1,25 V a 33 V e fornisce fino a 1,5 A con eccellente stabilizzazione

Uno strumento comunemente usato dagli sperimentatori è una sorgente di corrente continua stabilizzata e pulita. L'alimentatore ideale per il dilettante dovrebbe essere poco costoso, facile da costruire, regolabile su una gamma piuttosto vasta di tensioni d'uscita e in grado di fornire una corrente continua di 1 A o superiore. Inoltre, dovrebbe avere un alto grado di stabilizzazione contro le variazioni del carico e della tensione di rete e dovrebbe contenere protezioni come la limitazione automatica della corrente e della potenza massima e lo spegnimento automatico in caso di surriscaldamento.

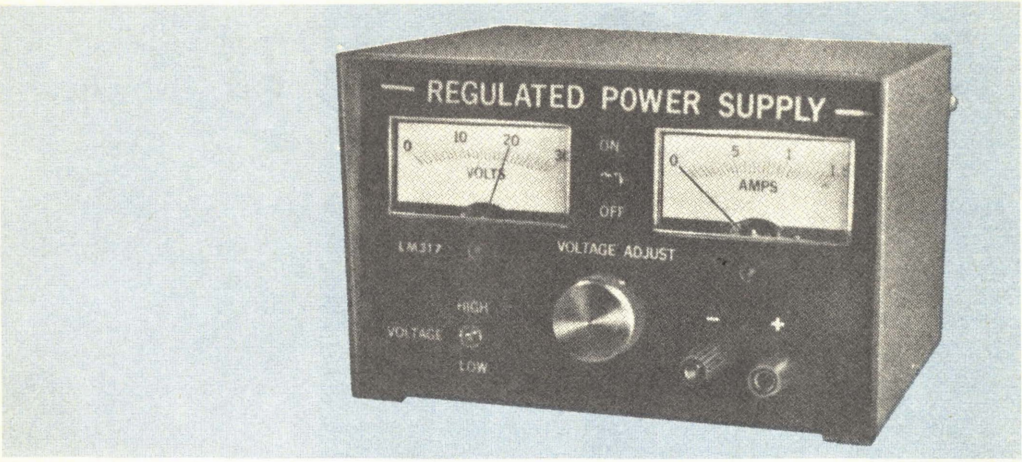
Il progetto che proponiamo, formato da pochi componenti, presenta tutti questi requisiti ed è abbastanza robusto per sopportare gli abusi ai quali la maggior parte degli alimentatori da banco è talvolta sottoposta. La sua parte principale è costituita da un LM317, un IC monolitico a tensione variabile, che può fornire una tensione d'uscita compresa tra 1,25 V e 40 V.

E' bene quindi, prima di esaminare il circuito alimentatore, descrivere particolareggiatamente questo circuito integrato.

L'IC stabilizzatore LM317 - Il semplice schema riportato nella *fig. 1* illustra il funzionamento basilare di questo componente, il quale mantiene la caduta di tensione tra il terminale d'uscita (l'involucro dello stabilizzatore di tipo TO-3) e il terminale di regolazione (piedino 1) ad un valore costante di 1,25 V. In pratica, il resistore R1 è collegato tra questi due terminali e stabilisce perciò una corrente di regolazione costante. L'intensità di questa corrente e la posizione del potenziometro R2 determinano la tensione d'uscita dello stabilizzatore.

Se la corrente di regolazione è sufficientemente intensa, il terminale d'uscita è sempre 1,25 V più positivo del terminale di regolazione. Di conseguenza, disponendo il cursore di R2 in modo che il terminale di regolazione dell'IC sia a massa, ciò fa sí che l'integrato si comporti come uno stabilizzatore a 1,25 V. Ruotando l'alberino di controllo di R2, si eleva il terminale di regolazione sopra il potenziale di massa, aumentando cosí la tensione sul terminale d'uscita.

Su tale terminale si può ottenere qualsiasi tensione superiore a 1,25 V aumentando semplicemente la resistenza tra il terminale di regolazione e la massa. Anche se la ditta costruttrice specifica che la massima



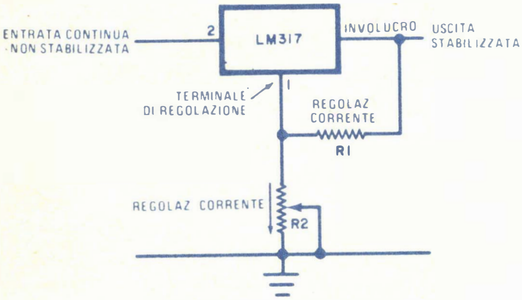


Fig. 1 - Circuito basilare che illustra il funzionamento del circuito integrato stabilizzatore LM317.

tensione differenziale tra l'entrata e l'uscita dell'IC è di 40 V, il dispositivo LM317 può essere usato per fornire tensioni stabilizzate più alte. Tuttavia, un funzionamento del genere richiede l'aggiunta di altri componenti per proteggere lo stabilizzatore da eccessive tensioni differenziali.

Si noti che il LM317 non ha un terminale di massa, quindi se esso deve funzionare regolarmente, tutta la corrente di funzionamento a riposo dell'IC deve scorrere attraverso il suo terminale d'uscita e l'IC necessita di una minima corrente di carico. Nella *fig. 2* è rappresentato un grafico della minima corrente di funzionamento richiesta in funzione della tensione differenziale entrata-uscita. Un modo conveniente per soddisfare questo requisito è scegliere per la corrente di regolazione un valore opportunamente più alto della corrente di funzionamento a riposo dell'IC.

La costituzione interna del LM317 rende possibile una grande varietà di applicazioni oltre a quella della stabilizzazione di tensione con transito in serie; tra queste vi sono la prestabilizzazione di traccia, la stabilizzazione di commutazione, la stabilizzazione di corrente alternata, la stabilizzazione di corrente a due terminali e la stabilizzazione di potenza.

Ancora più importante della semplicità e della flessibilità dell'IC stabilizzatore a tre terminali è la sua abilità di proteggere praticamente se stesso da ogni tipo di condizione di sovraccarico, aumentando perciò grandemente la sua affidabilità. La corrente d'uscita viene limitata a 2,2 A per proteggere l'IC ed anche il trasformatore d'alimentazione e il raddrizzatore. La protezione di sicurezza limita a 20 W la potenza massima dissipata

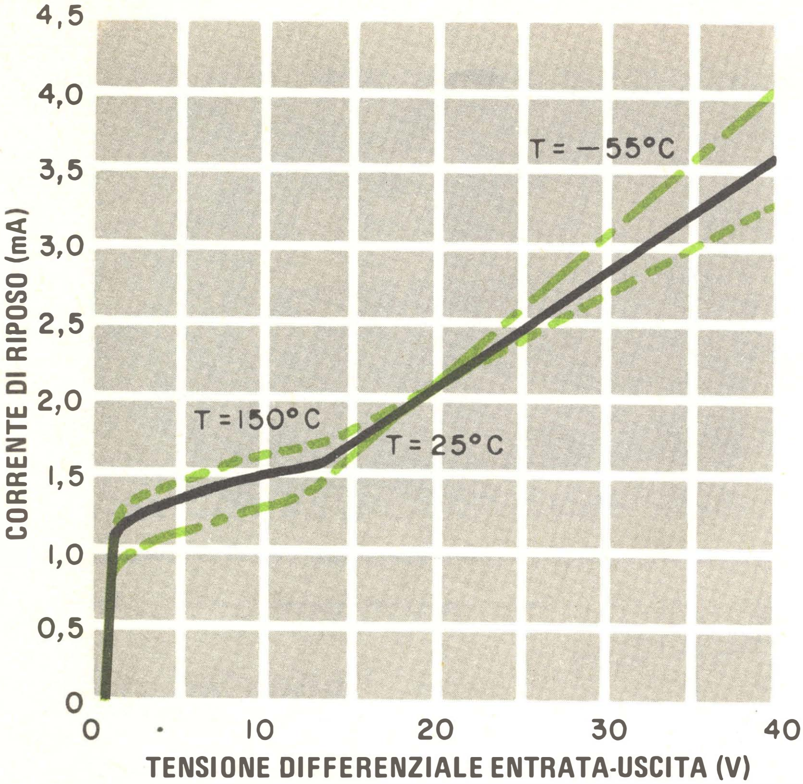


Fig. 2 - Grafico delle minime correnti di carico in funzione della tensione differenziale entrata-uscita.

dallo stabilizzatore, salvaguardando cosí il transistore di transito in serie, incorporato nel circuito integrato, da rotture secondarie distruttive. Il circuito di protezione di sicurezza diminuisce la massima corrente d'uscita possibile a mano a mano che la tensione differenziale tra l'entrata e l'uscita aumenta, limitando perciò la potenza dissipata ad un valore di sicurezza. Un grafico della limitazione della corrente d'uscita in funzione della tensione differenziale entrata-uscita è riportato nella *fig. 3*.

La protezione termica incorporata nell'IC LM317 limita la temperatura massima di questo integrato a circa 170 °C; ciò protegge lo stabilizzatore dal surriscaldamento, qualunque sia il tipo di sovraccarico o la dissipazione di calore che si verifica. La temperatura viene sentita sul circuito integrato in un punto vicino al transistore di transito in serie, consentendo allo stabilizzatore di interrompersi rapidamente nel caso si verifichi una condizione di sovraccarico potenzialmente distruttiva. Una volta che il sovraccarico è stato rimosso e il circuito integrato si è raffreddato, lo stabilizzatore riprende il suo normale funzionamento.

Tutti questi circuiti protettivi rimangono attivi fino a che esiste almeno una tensione differenziale entrata-uscita di 2 V, anche se il terminale di regolazione viene accidentalmente staccato dal resto del circuito.

Il circuito - Lo schema completo dell'alimentatore da banco è riportato nella *fig. 4*. Usando come stabilizzatore di tensione un LM317, si semplifica grandemente il progetto e la sua realizzazione, e si mantengono le prestazioni e l'affidabilità ad alti livelli.

Il trasformatore d'alimentazione T1 è del tipo universale con molti avvolgimenti. Il commutatore S2 sceglie uno dei due avvolgimenti primari, facendo variare l'entrata alternata al raddrizzatore a ponte ad onda intera da 18 V nella posizione "Bassa" a 32 V nella posizione "Alta". Ciò riduce al minimo la dissipazione di potenza dello stabilizzatore LM317 e consente la generazione di una piena corrente d'uscita a basse tensioni riducendo la tensione d'entrata allo stabilizzatore quando l'alimentatore viene usato a bassi livelli di tensione d'uscita. Un altro vantaggio è che il dissipatore di calore rimane meno caldo.

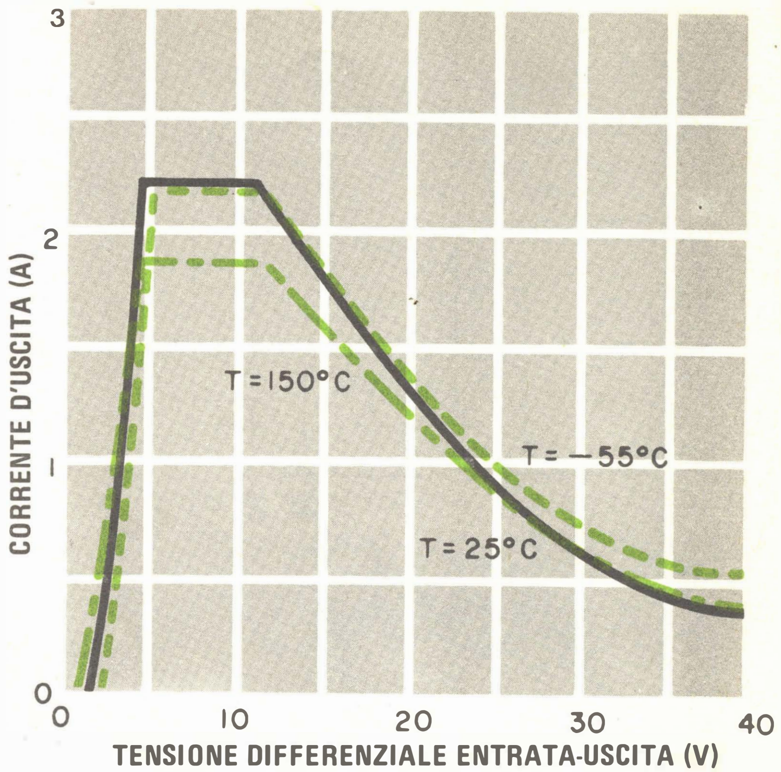


Fig. 3 - Curve di funzionamento di sicurezza dell'IC stabilizzatore LM317 a tre temperature di funzionamento.

Il condensatore di filtro C1 mantiene la tensione di ronzio da picco a picco ad un livello inferiore a 2 V all'entrata dello stabilizzatore e all'uscita di questo risultano presenti meno di 300 μV efficaci di ronzio. Il condensatore ceramico a disco C2 deve essere montato vicino all'IC stabilizzatore; anche se nell'elenco dei materiali viene indicato come facoltativo, esso è necessario se il condensatore di filtro C1 è montato a piú di 10 cm dall'IC. E' consigliabile comunque installare ugualmente C2 anche se C1 è vicino allo stabilizzatore.

R4 e R5 sono rispettivamente resistori di shunt e di calibratura del milliamperometro M1; si noti che R4 è posto sul lato d'entrata dello stabilizzatore anziché sul lato d'uscita, perciò esso non degraderà la stabilizzazione contro le variazioni di carico. L'esatto valore di R5 dipende dalle caratteristiche dello strumento usato per M1; se si impiega uno strumento da 1 mA f.s., tale resistore deve avere un valore compreso tra 10 Ω e 100 Ω.

Il resistore a strato di precisione R1 stabilisce una corrente di regolazione di 16 mA, che scorre attraverso il potenziometro di regolazione della tensione R2. Regolando quest'ultimo per la massima resistenza, si porta il terminale di regolazione dell'IC a 32 V rispetto a massa e ciò porta la tensione d'uscita dell'alimentatore al valore richiesto di 33,25 V. Per un alto grado di risoluzione nel regolare la tensione d'uscita, è consigliabile fare uso di un potenziometro a dieci giri. Qualora non sia reperibile un tipo del genere, si può adottare per R2 un normale potenziometro ad un solo giro.

Il condensatore C3 filtra qualsiasi tensione di ronzio che appaia sul terminale di regolazione, aumentando la reiezione del ronzio alle alte tensioni d'uscita. Il responso ai transienti e la stabilità dell'alimentatore vengono migliorati con l'aggiunta di C4. Il diodo D1 fornisce un percorso di scarica per C3 nel caso di un cortocircuito all'uscita dell'alimentatore. D2 invece protegge l'IC stabilizzatore contro tensioni inverse che potrebbero essere accidentalmente applicate all'uscita dell'alimentatore.

R3 è il resistore addizionale per il voltmetro d'uscita M2; sia quest'ultimo sia M1 sono normali strumenti da 1 mA f.s. con le scale rifatte. L'esatto valore di R3 dipende dalle caratteristiche del particolare strumento usa-

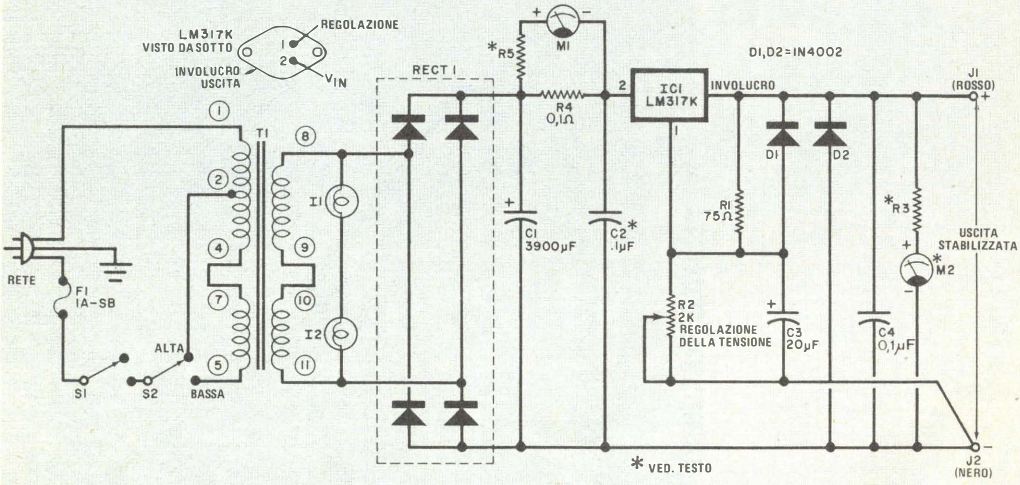


Fig. 4 - Schema completo dell'alimentatore di precisione.

MATERIALE OCCORRENTE

C1 = condensatore elettrolitico da 3.900 µF - 50 V
C2-C4 = condensatori ceramici da 0,1 µF (C2 è facoltativo)
C3 = condensatore elettrolitico da 20 µF - 50 V
D1-D2 = diodi 1N4002
F1 = fusibile a fusione lenta da 1 A
IC1 = stabilizzatore di tensione National Semiconductor LM317K TO-3
I1-I2 = lampadine spia da 15 V
J1-J2 = morsetti isolati (rosso e nero)
M1 = strumento da pannello da 1 mA f.s., da 5 cm di diametro, con scala rifatta per un'indicazione da 0 a 1,5 A
M2 = strumento da pannello da 1 mA f.s., da 5 cm di diametro, con scala rifatta per un'indicazione da 0 a 30 V
R1 = resistore a pellicola metallica da 75 Ω - 1/4 W, 1%
R2 = potenziometro a 10 giri da 2 kΩ
R3 = resistore il cui valore va adattato al particolare strumento usato (circa 30 kΩ per uno strumento da 1 mA)
R4 = resistore da 0,1 Ω - 1/2 W, 5%
R5 = resistore da adattare allo strumento usato (in genere il suo valore varia tra 10 Ω e 100 Ω per uno strumento da 1 mA)
RECT1 = raddrizzatore a ponte modulare da 2 A - 100 V inversi di picco
S1-S2 = commutatori miniatura a levetta a una via e due posizioni
T1 = trasformatore d'alimentazione universale con secondario da 30 V - 2 A
Scatola di alluminio adatta, dissipatore di calore, zoccolo TO-3 e rondella di mica, pasta termica al silicone, cordone di rete, portafusibile, manopola di controllo, piedini di gomma, lettere trasferibili a secco, filo per collegamenti, stagno, minuterie di montaggio e varie.

Per l'acquisto dei materiali rivolgersi alla ditta SVETI-MAR - via L. Bellardi 126 10146 Torino

to per M2: sarà pari a circa 30 kΩ se viene usato uno strumento da 1 mA f.s. Le lampadine ad incandescenza I1 e I2 illuminano gli strumenti dell'alimentatore e fungono anche da lampadine spia.

Costruzione - Il prototipo dell'alimentatore da banco da 1,5 A (*fig. 5*) è stato costruito in una scatola di alluminio alta 10 cm, larga 15 cm e profonda 13 cm, il cui pannello posteriore è stato sostituito con un dissipatore di calore d'alluminio provvisto di tredici alette da 2,5 cm. Si abbia cura di scegliere un dissipatore di dimensioni sufficienti a limitare la temperatura dello stabilizzatore a non più di circa 75 °C oltre la temperatura am-

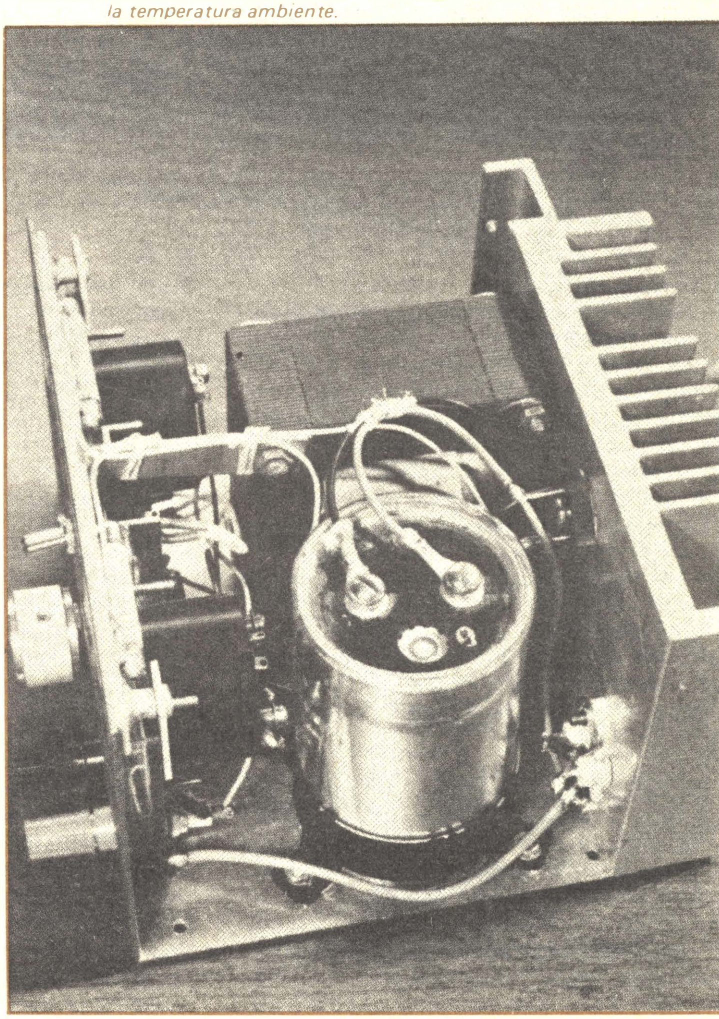
biente quando dissipa un massimo di 25 W.

Una rondella di mica assicurerà una buona conduttività termica tra l'involucro dello stabilizzatore e il dissipatore di calore, pur mantenendo l'isolamento elettrico. Si applichi uno strato di pasta termica al silicone su entrambe le facciate della rondella. Anche il raddrizzatore a ponte (RECT1) è stato imbullonato al dissipatore di calore, ma, essendo montato all'interno del dissipatore, non è visibile nella *fig. 6*.

Dopo aver praticato i fori per i vari componenti e aver tagliato il pannello frontale per l'inserimento degli strumenti, la scatola è stata verniciata e contrassegnata con lettere trasferibili a secco. Usando minuterie di montaggio adatte, si sono poi sistemati tutti i componenti ad eccezione del condensatore di filtro e degli strumenti, per lasciare lo spazio necessario a collegare i commutatori, il potenziometro, ecc.

Per rifare le scale degli strumenti si sono asportati i coperchi anteriori di plastica, si sono estratte le scale e si sono cancellati i numeri preesistenti con una gomma; quindi si sono tracciate le nuove scale con lettere

Fig. 5 - Vista interna del prototipo. Il dissipatore di calore deve limitare la temperatura dell'IC a 75 °C oltre la temperatura ambiente.



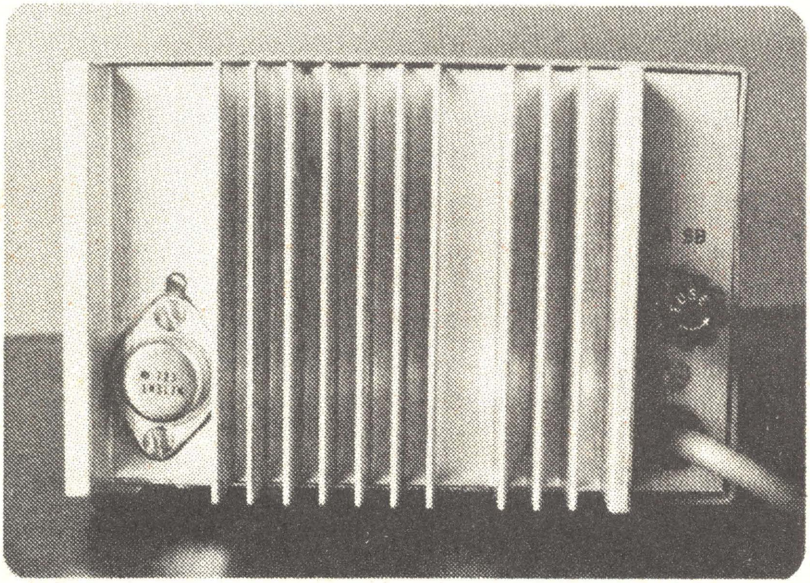


Fig. 6 - Vista posteriore del dissipatore di calore montato nel prototipo. Una rondella di mica assicura un buon contatto termico tra lo stabilizzatore e il dissipatore.

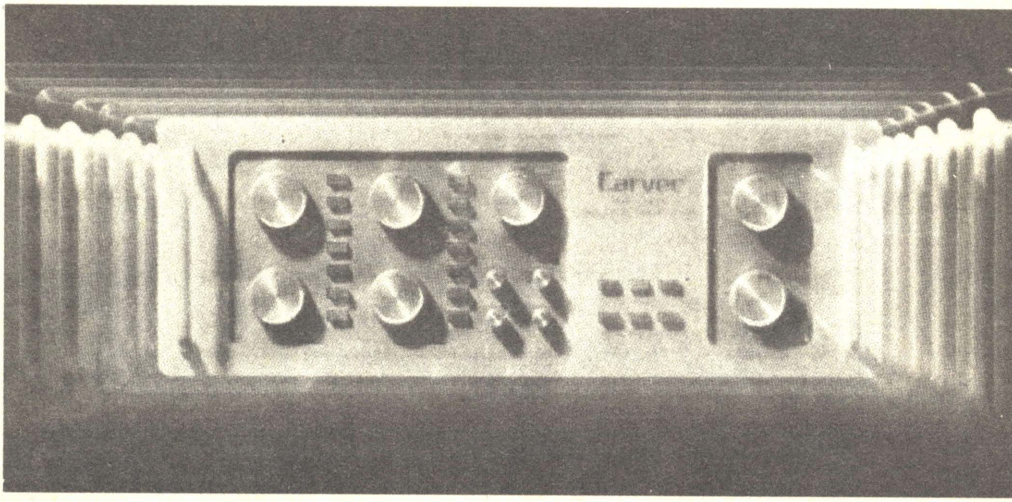
trasferibili a secco.

Anche se i collegamenti dell'alimentatore non presentano difficoltà, si devono adottare alcune precauzioni per ottenere la massima stabilizzazione possibile contro le variazioni del carico. Un terminale di R1 deve essere collegato direttamente all'involucro TO-3 (il terminale d'uscita dell'IC stabilizzatore). Un filo di grosse dimensioni deve essere steso direttamente dall'involucro dello stabilizzatore al jack positivo di uscita. Infine, il cursore di R2 e il terminale dello stesso potenziometro collegato al suo cursore devono essere collegati direttamente al jack negativo d'uscita; in tal modo si migliora la stabilizzazione contro le variazioni di carico, in quanto l'uscita dell'alimentatore viene direttamente collegata ai terminali d'uscita.

Conclusione - A montaggio ultimato l'alimentatore si dimostrerà molto utile per qualsiasi laboratorio domestico. Anche se il suo progetto è molto semplice (sono sufficienti appena una ventina circa di componenti), le prestazioni che è in grado di offrire sono piú che adeguate per la maggior parte delle applicazioni sul banco da lavoro. Con il controllo di regolazione della tensione disposto per 15 V, una corrente di carico da 1 A provocherà tipicamente una caduta di tensione inferiore a 15 mV in uscita con meno di 1 mV di ronzio da picco a picco. Variando la tensione di rete tra 90 V e 125 V, si avrà una variazione della tensione d'uscita inferiore a 10 mV. Si possono ottenere derive della tensione d'uscita dello 0,01%/°C se per R1 e R2 vengono usati componenti stabili.

Con l'aggiunta di qualche altro componente si può far andare l'uscita fino a zero, collegando il cursore (e il terminale ad esso connesso) del potenziometro R2 ad una stabile tensione di riferimento di −1,25 V. La corrente d'uscita si può aumentare sostituendo l'IC LM317 con il LM350, una nuova versione da 3 A dello stesso integrato. In tal caso, il trasformatore d'alimentazione e il raddrizzatore devono essere tipi adatti a sopportare una corrente superiore. Se occorre un alimentatore bipolare, si possono costruire due alimentatori collegando il morsetto positivo di uno di essi al morsetto negativo dell'altro. Alternativamente, si può realizzare una versione modificata di questo progetto montando sia un LM317 sia un LM337, una versione a tensione negativa del LM317, sempre della National Semiconductor. ★

LABORATORIO TEST



PREAMPLIFICATORE C-4000 DELLA CARVER

Definire l'apparecchio C-4000 un semplice "preamplificatore" significherebbe non tenere conto di tutte le tecniche raffinate che stanno alla base del suo progetto; in effetti esso è ben altro che un normale stadio preamplificatore ed equalizzatore, secondo la curva RIAA, per testine fonorilevatrici, con l'usuale insieme di regolazioni per il segnale da inviare all'amplificatore di potenza. L'elevato numero di funzioni di elaborazione del segnale incorporate in questo preamplificatore rende evidente come il suo progettista ritenga tali funzioni molto importanti, se non addirittura essenziali.

Oltre ai normali circuiti per l'equalizzazione secondo la curva RIAA, necessari nella riproduzione da disco, e per l'usuale equalizzazione aggiuntiva mediante regolazione del guadagno e del tono, il preamplificatore Mod. C-4000 contiene un circuito espansore antilimitatore del picco, che serve ad aumentare la gamma dinamica, un "autocorrelatore" per ridurre il rumore presente sul segnale musicale, tre canali di ritardo (due reali ed uno derivato dagli altri due) ed infine una funzione del tutto nuova, definita "generatore di ologramma sonoro". Nell'apparecchio sono inoltre incorporati due amplificatori di potenza per i canali ritardati, ciascuno dei quali è in grado di erogare circa 25 W su un carico di 8 Ω.

Il preamplificatore in esame è equipaggiato con due ingressi fono e con gli ingressi e le uscite necessari per collegare due registratori a nastro, con possibilità di riversare i programmi da uno qualsiasi dei due apparec-

chi all'altro. L'insieme dei comandi di tono comprende le usuali regolazioni dei bassi e degli alti; quella dei toni alti ha frequenza di inflessione commutabile tra 8 kHz e 2 kHz; la regolazione dei bassi può invece lavorare con punto di inflessione sui 40 Hz o come compensazione fisiologica del volume.

I circuiti per la regolazione di tono possono essere esclusi ed i relativi comandi possono essere posizionati indipendentemente per ciascun canale. Un equalizzatore aggiuntivo fornisce un taglio graduale da 400 Hz in giú; sono inoltre presenti un filtro per l'eliminazione delle frequenze infrasoniche, un comando di silenziamento che abbassa il volume di 20 dB, nonché ingressi ed uscite per far passare il segnale attraverso un eventuale dispositivo esterno di elaborazione.

Fra tutti i dispositivi di elaborazione del segnale incorporati nel Mod. C-4000, il generatore di ologramma sonoro è senz'altro il piú nuovo ed interessante. Dalla misura della distorsione armonica e del rumore che nascono in tale generatore, si sono rilevati livelli minimi di componenti non volute (oltre 84 dB al di sotto del segnale utile in uscita, il quale aveva un livello di 0,5 V a 1 kHz). Lo scopo del dispositivo è quello di allargare l'immagine stereo, aumentando la precisione con cui si riesce a localizzare le singole sorgenti sonore, nonché quello di ricreare l'effetto d'ambiente in un modo simile a quello adottato nei sistemi quadrifonici (usando però una sola coppia di altoparlanti).

Prove d'ascolto con l'ologramma sonoro - L'intensità dell'effetto ologramma e le posizioni di ascolto dalle quali esso risulta avvertibile dipendono strettamente dalle caratteristiche dell'ambiente d'ascolto e degli altoparlanti; il realismo del suono risulta però migliorato in ogni caso. Poiché il concetto di ologramma è del tutto nuovo, una sua valutazione soggettiva, nel corso delle prove a cui si è sottoposto l'apparecchio, è apparsa piuttosto problematica, in quanto si sarebbe dovuto capire chiaramente che cosa un generatore di ologramma debba fare per poter esprimere un giudizio sul suo comportamento nel funzionamento pratico.

Quando si è ascoltato per la prima volta l'ologramma in una stanza spaziosa, ma non enorme (sala A), a circa 3 m da una coppia di altoparlanti (progettati in modo da irradiare il suono in direzione frontale, con minima dispersione temporale) sistemati nel centro della stanza a circa 2,5 m l'uno dal l'altro, si è rimasti colpiti dall'effetto. La musica aveva una piacevole qualità tridimensionale e gli esecutori sembravano nettamente distinti l'uno dall'altro; l'effetto era presente sino a quando si restava esattamente sull'asse centrale della coppia di altoparlanti; uno spostamento laterale anche di 10 cm soltanto diminuiva considerevolmente l'illusione spaziale, mentre uno spostamento di circa 30 cm lo annullava quasi del tutto, riducendo il risultato a quello di un normale stereo.

Una seconda prova d'ascolto è stata condotta in una stanza piuttosto piccola (sala B), usando ancora altoparlanti che irradiavano il suono in avanti, ma con risposta di fase non corretta. Il risultato di questa prova, benché caratterizzato da un effetto ancora facilmente percettibile, è stato meno impressionante; la posizione d'ascolto è risultata critica quasi quanto quella del caso precedente. E' curioso il fatto che l'ologramma sembrava correggere una carenza nei bassi propria degli altoparlanti. Quando si è sostituita la coppia di altoparlanti con due casse acustiche che contenevano altoparlanti diretti lateralmente, l'effetto è apparso ulteriormente attenuato, tanto da risultare quasi deludente; in questo caso però la posizione d'ascolto era meno critica.

Un'ulteriore prova è stata condotta in una stanza di dimensioni intermedie e di forma rettangolare (sala C), sistemando gli altoparlanti alquanto spaziati tra loro e addossati al muro piú lungo; le casse acustiche usate erano di un tipo piuttosto insolito, nel senso che i woofer ed i tweeter irradiavano il suono in avanti, mentre gli altoparlanti per i toni medi erano rivolti all'indietro. Anche in questo caso l'effetto è apparso di modesta intensità; la tolleranza alla variazione della posizione d'ascolto era però tale da consentire un ascolto simile da parte di due persone sedute l'una di fianco all'altra; un ulteriore effetto collaterale consisteva nel fatto che il volume del suono sembrava aumentare quando veniva inserito l'ologramma; questa sensazione è stata anche confermata da uno strumento misuratore di livello sonoro.

La prova finale, quella che ha fornito i risultati migliori, ha avuto luogo in una stanza piuttosto ampia (sala D), usando altoparlanti senza correzione della dispersione temporale. Entrambi gli altoparlanti erano sistemati alquanto lontani dal muro ed è stata



sperimentata una grande varietà di posizioni d'ascolto. In generale l'ologramma dava un'impressione vivida e pronunciata se ci si trovava sull'asse della coppia di altoparlanti ed a circa 4 m da essi; l'effetto rilevato in questa prova è risultato ancora intenso quando si era nella posizione centrale, ma con minore deterioramento nel caso di spostamento laterale.

Si è constatato con sorpresa, durante questa prova, che l'immagine stereo si espandeva maggiormente sul lato destro che sul lato sinistro e la ragione di questa anomalia è risultata dovuta alle riflessioni sulle pareti. Per minimizzare questa dissimmetria si è ricorsi ad una geometria piú "classica", ponendo gli altoparlanti e l'ascoltatore sui tre vertici di un triangolo equilatero; con questa disposizione il risultato è stato tale da togliere il fiato: con le luci spente, si aveva la netta impressione di trovarsi di fronte ad una vera orchestra; come vantaggio aggiuntivo è risultato possibile un ottimo ascolto da parte di due persone affiancate.

In quasi tutte le prove condotte, il sistema di ritardo usato per alimentare due altoparlanti ausiliari, sistemati sui fianchi quasi all'altezza dell'ascoltatore, ed un altoparlante centrale piazzato in mezzo alla coppia di altoparlanti principali ma leggermente arretrato, si è mostrato capace di esaltare l'effetto dell'ologramma. Esso aumentava il senso di profondità ed allargava leggermente le dimensioni apparenti dello spazio percepito. Quando però ci si trovava tanto vicini agli altoparlanti principali da minimizzare l'effetto delle riflessioni da parte dei muri, l'effetto del sistema di ritardo appariva ridotto.

Coloro che vivono in appartamenti relativamente piccoli e con muri sottili troveranno interessante un altro vantaggio offerto dall'ologramma. Un ottimo sistema per ascoltare musica senza disturbare i vicini consiste nel sistemarsi due piccoli altoparlanti piuttosto vicino alle orecchie e nel far funzionare l'impianto ad un livello che, se pur soggettivamente è alto, risulta piuttosto basso se ci si allontana di poco dagli altoparlanti; sfortunatamente una soluzione del genere dà luogo normalmente ad alcuni problemi tipici che in genere accompagnano l'ascolto in cuffia, quali la senzazione che il suono provenga dall'interno della testa. Ma l'ologramma elimina quasi completamente questi inconvenienti e consente un tipo d'ascolto veramente realistico.

Come funziona - Qualche informazione sul sistema con cui il generatore di ologramma fornisce gli effetti descritti si può ottenere dall'esame del suo funzionamento interno; sostanzialmente esso prevede l'ammontare della diafonia che raggiunge l'orecchio sinistro proveniente dal canale destro e viceversa, per poi introdurre un equivalente segnale di cancellazione. Come risultato, a ciascun canale viene inviata una certa quantità di segnale dell'altro canale, invertito in fase e leggermente ritardato. Sia chiaro che la diafonia di cui si parla non è il risultato di un'imperfezione elettrica, ma nasce dal fatto che il suono proveniente dall'altopar-

lante sinistro raggiunge anche l'orecchio destro e viceversa.

Se i segnali di cancellazione — sostiene la casa costruttrice — sono matematicamente esatti, il sistema funziona soltanto se l'ascoltatore rimane con la testa assolutamente fissa sull'asse della coppia di altoparlanti, dando un risultato simile a quello prodotto dal "sistema di ascolto binaurale da altoparlanti", presentato sotto forma di prototipo da un'altra casa. Ciò che è stato fatto nell'apparecchio della Carver è di barattare una piccola parte, quasi trascurabile, dell'effetto in cambio della possibilità, per l'ascoltatore, di muovere la testa e, in condizioni ottimali, di spostarsi anche leggermente dall'asse della coppia di altoparlanti. E' interessante notare che il processo di ottimizzazione seguito non è matematico, ma del tutto empirico: ciò che importa è il risultato.

Prove di laboratorio - Le misure compiute sull'apparecchio C-4000 hanno dimostrato che tutti gli ingressi sono sensibili allo stesso modo e che il margine al sovraccarico degli ingressi fono è sufficiente. La distorsione armonica è apparsa assai bassa per segnali d'uscita sino a 0,3 V e spettacolarmente bassa con segnali sino a 6 V (la tensione massima nominale d'uscita è di 2,5 V). Il rapporto segnale/rumore (misurato secondo le norme IHF con curva di pesatura A) è risultato di 74 dB, riferito ad un'uscita di 0,5 V, per uno degli ingressi ad alto livello e di 70 dB per l'ingresso fono, misurato in questo caso con un segnale d'ingresso di 2,5 mV; entrambi i valori possono considerarsi eccellenti.

L'equalizzazione dell'ingresso fono ha presentato un errore inferiore a ±1 dB sull'intera banda audio. I comandi di tono si sono comportati sostanzialmente nel modo previsto, benché, cosa piuttosto inusuale, essi consentissero agli estremi dello spettro un'esaltazione massima piú grande di 4 dB della massima attenuazione. La risposta del filtro destinato a tagliare le frequenze sotto i 400 Hz è apparsa soddisfacente, benché a tale frequenza l'attenuazione fosse soltanto di 1 dB; la piena attenuazione, di 2 dB, veniva raggiunta sui 200 Hz e restava poi invariata sino a 20 Hz. Un controllo per valutare l'effetto delle caratteristiche della testina sulla risposta dell'ingresso fono ha mostrato che esso è praticamente nullo per tre diverse testine di grande diffusione. I diversi valori di resistenza e di capacità selezionabili per l'ingresso fono n. 1 si sono rivelati assai precisi.

L'analisi degli stadi di ritardo ha rivelato l'esistenza di alcuni problemi di distorsione, dovuti al "ripiegamento dello spettro" (essenzialmente una distorsione che nasce dall'intermodulazione con la frequenza di campionamento e commutazione usata per spostare il segnale lungo la linea di ritardo). Il risultato finale è stato il ripiegamento dello spettro, che si manifestava nonostante l'uso di un filtro passa-basso con fronte estremamente ripido all'ingresso della linea di ritardo. Per di piú la ripidità del fronte di attenuazione del filtro provocava oscillazioni nella risposta in banda passante, le quali contribuivano a dare al suono una leggera colorazione indesiderata.

Gli amplificatori di potenza che alimentano le uscite ritardate hanno fatto misurare una distorsione armonica totale prossima all'1% per tutti i livelli di segnale usati nelle prove. Considerata la bassa potenza che questi amplificatori devono fornire, le loro prestazioni sono risultate certamente adeguate allo scopo; gli utenti che desiderassero disporre di una forte potenza sui canali ritardati potranno usare amplificatori esterni, pilotati dalle uscite dirette dei segnali ritardati.

Le altre unità di elaborazione - Il funzionamento dell'unità che evita la limitazione dei picchi ed effettua l'espansione della dinamica si basa su tre sezioni circuitali. La prima, che entra in gioco ad un livello nominale di 0 dB, è un circuito ad intervento e rilascio rapido, che aumenta di 1,5 dB il guadagno in corrispondenza dei picchi. Nella zona dei livelli inferiori, sino a −10 dB, il segnale passa invariato nei circuiti; da −10 dB a −20 dB il segnale invece è espanso verso il basso di 2,8 dB, usando un circuito che interviene lentamente nel ridurre il guadagno e velocemente nel riportarlo al valore iniziale. Al di sotto dei −20 dB un circuito con azione lenta in entrambe le direzioni fornisce un'ulteriore espansione di 2 dB verso il basso. I due espansori verso il basso interagiscono tra loro (i loro elementi resistivi sono collegati in parallelo e formano il ramo verso massa di un divisore di tensione); i relativi guadagni dipendono perciò in un certo grado da quello che interviene per primo. Questo fatto, unito ai differenti tempi di attacco e di rilascio ed al modesto rapporto di espansione, produce un sistema che raramente nel corso del funzionamento tradisce la sua

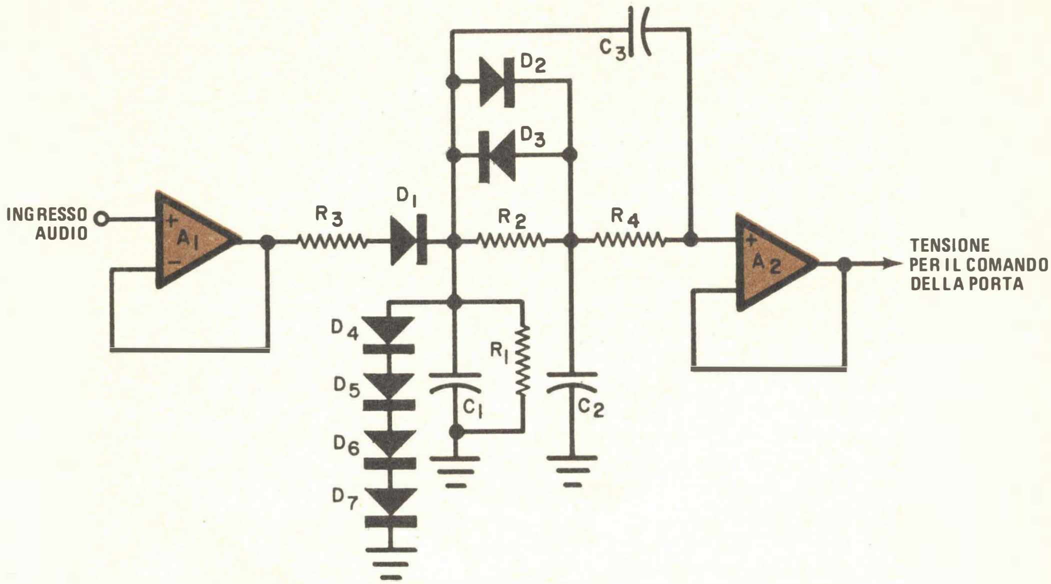


Fig. 1 - Schema del circuito che comanda una delle porte di trasmissione dell'autocorrelatore

presenza.

Il circuito espansore/antilimitatore attualmente usato è stato ottenuto migliorando un precedente sistema. Pure migliorato, secondo le informazioni del progettista, è stato il circuito "autocorrelatore" per la riduzione del rumore; mentre la precedente versione di questo circuito lavorava in modo da ottenere una riduzione del rumore di 10 dB, l'attuale fornisce una riduzione di soli 8 dB, ma la sua presenza è meno avvertibile all'ascolto.

Un problema presente sulla prima versione era poi quello del compromesso tra i tempi di attacco e di rilascio: se il sistema entra in funzione tanto rapidamente da evitare che si oda un effetto simile ad un "respiro", dovuto alle variazioni di livello del rumore che seguono un rapido abbassamento di livello del segnale, rapidi cambiamenti nell'inviluppo del segnale stesso (presenti ad esempio nei "vibrato" e nei "tremulo") possono provocare una modulazione del rumore e produrre nel suono colorazioni indesiderate, che possono deteriorare sensibilmente il suono di un flauto o di un violino solista. Il progettista ha superato questa difficoltà mediante un circuito di controllo con tempi di intervento differenti per segnali grandi o piccoli.

Nella *fig. 1* è riportato il circuito di comando di una delle sei porte di trasmissione usate nell'unità; il segnale audio, dopo aver attraversato un opportuno filtro passa-banda, entra nell'amplificatore di disaccoppiamento A_1 e nel resistore R_3, per essere raddrizzato dal diodo D_1. Il condensatore C_1 livella la tensione continua risultante, che carica poi C_2 attraverso R_2 e raggiunge infine A_2 attraverso R_4. L'uscita di A_2 fornisce la tensione di comando alla porta attraverso cui fluisce, per raggiungere gli stadi successivi dell'apparecchio, lo stesso segnale audio presente all'ingresso di A_1. La costante di tempo R_2C_2 è piuttosto lunga, cosí da determinare un funzionamento lento del circuito; quando però il livello di continua su R_1 e C_1 aumenta sino a superare la soglia di tensione di D_2, il diodo conduce, scavalcando R_2 e permettendo a C_2 di caricarsi rapidamente. In questo modo la tensione di comando reagisce lentamente ai piccoli segnali, ma rapidamente ai segnali di maggiore ampiezza.

Quando il livello del segnale audio si abbassa, C_1 si scarica rapidamente attraverso R_1, mentre C_2 si scarica lentamente attraverso R_1 e R_2 in serie tra loro. Se però la

differenza tra le tensioni presenti su C_1 e su C_2 è tanto forte da superare la soglia di conduzione diretta di D_3, la resistenza R_2 è nuovamente scavalcata e la velocità di scarica di C_2 aumenta. Anche in questo caso il circuito reagisce perciò rapidamente ai segnali di notevole ampiezza e lentamente ai piccoli segnali. I diodi da D_4 a D_7 hanno lo scopo di far sí che alla porta non possa mai giungere un segnale di comando eccessivo. La prima delle sei porte di cui è provvisto il sistema funziona da 200 Hz in giú, mentre le altre cinque si ripartiscono, a porzioni di un'ottava ciascuna, la banda da 1,5 kHz a 20 kHz.

La presenza del condensatore C_3 è un piccolo trucco psicoacustico, che soddisfa l'orecchio facendo in modo che le alte frequenze non sembrino scomparire del tutto anche quando la tensione di controllo non è sufficiente a sbloccare la porta. Il residuo di alternata che si ha dopo il raddrizzatore si trasferisce parzialmente attraverso C_3 e raggiunge la porta insieme al segnale di comando. Il resistore R_4 ha una funzione di isolamento, cioè ha lo scopo di evitare che il residuo di alternata sia cortocircuitato da C_2. Quando la porta è chiusa, una piccolissima quantità del residuo di alternata (una versione fortemente distorta del segnale audio) supera la porta ed arriva all'uscita del sistema; il suo livello è tanto basso che il residuo di segnale non può essere identificato come tale, ma sostituisce le alte frequenze che altrimenti andrebbero completamente perdute. Quando la porta è aperta, il residuo a basso livello è mascherato dal segnale. I migliori risultati si ottengono quando il livello audio all'ingresso A_1 è tale per cui le semionde positive del segnale possono attraversare D_1, mentre il rumore non può farlo.

La *fig. 2* mette in evidenza, sotto forma di analisi spettrale, la riduzione del rumore che si ottiene nell'autocorrelatore.

Nel corso delle prove si è constatato che la presenza dell'autocorrelatore non poteva essere avvertita all'ascolto, se non per il fatto che il soffio di rumore appariva ridotto. Il suono dei flauti e dei violini, in particolare, veniva reso in modo perfetto. Il sistema offriva le migliori prestazioni quando il rumore era di per sé già basso, ma, se la sua soglia di intervento era regolata in modo opportuno, anche con segnali musicali normalmente rumorosi funzionava bene. Certo, alcuni segnali possono mettere in crisi il sistema, ma nessuno dei molti programmi musicali provati è riuscito a fare ciò.

L'apparecchio C-4000 è risultato quindi uno dei componenti audio piú interessanti e stimolanti apparsi ultimamente. L'espansore/antilimitatore del picco, l'autocorrelatore ed i circuiti di ritardo (con amplificatori di potenza incorporati) sono un utilissimo ausilio ai circuiti fondamentali, di ottima qualità. La funzione piú importante è però l'ologramma sonoro, che costituisce un significativo passo avanti nella creazione di un'immagine stereofonica e nella ricostruzione del senso di spazialità. ★

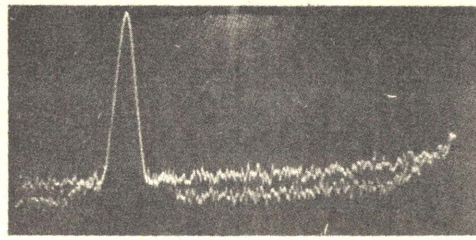


Fig. 2 - Analisi spettrale di una sinusoide a 15 kHz mescolata a rumore rosa. La traccia superiore è stata registrata a scopo di riferimento con l'autocorrelatore escluso; con l'autocorrelatore in funzione (traccia inferiore) il rumore viene abbassato di 8 dB, tranne che nelle immediate vicinanze dei 15 kHz ed alle basse frequenze.

PRESTAZIONI

Ingressi: fono 1, 2; sintonizzatore; ausiliario 1,2; registratore 1, 2; unità di elaborazione esterna.
Uscite: principale 1, 2; registratore 1, 2; unità di elaborazione esterna; canali ritardati (uscite di potenza) sinistro, destro e centrale; canali ritardati (uscita da inviare all'amplificatore) sinistro, destro e centrale.
Comandi di tono: bassi (punto di inflessione selezionabile); acuti (punto di inflessione selezionabile).
Elaborazione del segnale: espansore/antilimitatore del picco; autocorrelatore; ritardo; generatore di ologramma sonoro.
Prese di rete: 3 a monte e 3 a valle dell'interruttore di alimentazione (potenza disponibile totale = = 1 kW).
Dimensioni: larghezza 46 cm; altezza 16,5 cm; profondità 19,5 cm.

GIRADISCHI SEMIAUTOMATICO PHILIPS AF877



Il giradischi semiautomatico a due velocità Mod. AF877 della Philips fa uso di un sistema di regolazione automatica della velocità a "controllo diretto" (da non confondersi con la "trazione diretta"). Il suo piatto di alluminio, del diametro di 30,5 cm ed ottenuto per fusione, è messo in movimento, tramite una cinghia, da un motore in corrente continua servocontrollato. Il segnale di reazione che serve per la regolazione automatica della velocità è prelevato da un generatore tachimetrico montato sull'asse del piatto (si noti che, normalmente, in quasi tutti gli altri giradischi servocontrollati il tachimetro si trova invece sul perno del motore). Poiché in condizioni di forte carico, che possono manifestarsi, ad esempio, quando si impiegano dispositivi per la pulizia del disco, può accadere che la cinghia slitti leggermente o possa subire momentanei allungamenti, si manifestano fenomeni di "wow" e "flutter". Per ovviare a questo inconveniente la Philips fa in modo, con il suo sistema di regolazione automatica, di mantenere costante direttamente la velocità di rotazione del piatto (cioè del disco) anziché quella del motore.

Il giradischi AF877 appoggia su una base di colore scuro ed è dotato di un coperchio antipolvere in plastica, che rimane aperto in qualsiasi posizione. Con il coperchio abbassato, l'apparecchio è largo 42 cm, profondo 35 cm, alto 14 cm ed il suo peso è di 5,8 kg.

Descrizione generale - Il piatto, che pesa circa 1 kg, appoggia su un altro piatto, piú piccolo, messo in movimento dalla cinghia. Il disco tachimetrico, simile nell'aspetto ad una ruota dentata, è fissato al perno del piatto, sotto la piastra del motore. Il disco induce in una bobina che lo circonda una tensione proporzionale alla sua velocità di rotazione; il segnale raccolto sulla bobina viene convertito in una tensione continua, che è poi confrontata con una tensione di riferimento molto stabile. Il segnale differenza, amplificato, comanda il motore.

I comandi per il motore sono di tipo elettronico; due tasti servono a selezionare la velocità di rotazione (33-1/3 o 45 giri al minuto) e contemporaneamente ad avviare il motore; un terzo tasto serve per l'arresto del motore. Il quarto tasto, contrassegnato con

la scritta REJECT, provoca l'innalzamento del braccio, il suo ritorno sul supporto e successivamente l'arresto del motore. Il ritorno del braccio sul suo supporto e l'arresto avvengono anche automaticamente al termine del disco; il braccio deve però essere appoggiato a mano sul disco quando si vuole dare inizio all'ascolto. Tutti i comandi per il motore sono raggruppati nella zona anteriore destra della piastra di base.

Dietro ai tasti che comandano l'avvio si trovano due piccole manopole, che permettono di regolare ciascuna delle due velocità entro un campo nominale del ±3%. La velocità è indicata con continuità da una fila di nove LED, che si illuminano sequenzialmente ad ogni variazione dell'1% della velocità (il LED centrale invece si illumina quando la velocità del giradischi è esattamente pari a quella nominale). Questo indicatore a diodi è molto piú visibile e facile da interpretare che non le normali piste stroboscopiche.

Il braccio è composto da un leggero tubo diritto in alluminio, montato su un sistema di incernieramento a basso attrito e bilanciato da un contrappeso regolabile, avvitato sul braccio stesso. Il guscio di supporto per la testina, in alluminio ed ottenuto per pressofusione, ha un'angolazione tale da minimizzare l'errore di tangenzialità. Il guscio si fissa sul braccio mediante un connettore a quattro piedini, dotato di un anello di bloccaggio (esso non è intercambiabile con i gusci a quattro piedini, largamente usati sui bracci di produzione giapponese e talvolta europea). Un accessorio di guida in materiale plastico semplifica il posizionamento della puntina in modo da dare il minimo errore di tangenzialità.

I comandi per il motore sono di tipo elettronico, per cui basta sfiorarli con un dito

Il giradischi che stiamo esaminando ha una caratteristica esclusiva: il supporto del braccio contiene una bilancia per l'indicazione della forza d'appoggio. Quando il braccio è posato sul suo supporto, lo sforzo che esso esercita viene rilevato; il valore risultante viene cosí corretto in modo da riportarlo al valore che esso avrebbe sul disco e viene quindi mostrato in una finestra che si trova sul pannello dei comandi, vicino all'indicatore di velocità. La scala della forza d'appoggio è suddivisa ogni 0,25 g, nel campo da 0,5 g a 3 g. L'indicazione è data da una linea orizzontale verde, la cui lunghezza è proporzionale alla forza. Presso la base del braccio si trovano la scala per la regolazione del dispositivo di compensazione della forza centripeta (le scale sono in realtà due, una per puntine sferiche e l'altra per puntine ellittiche) e la leva per il sollevamento del braccio. Quest'ultima fa muovere il braccio in entrambe le direzioni con azione particolarmente dolce, grazie ad un sistema di smorzamento viscoso.

Per ridurre la sensibilità del giradischi alle vibrazioni ed eliminare il problema della reazione acustica, il piatto ed il braccio sono montati rigidamente su una piastra appesa, mediante tre molle, al complesso comprendente base e piastra del motore. Poiché il motore è anch'esso disaccoppiato dalla base mediante molle, si ha un doppio isolamento tra il motore e gli organi essenziali del giradischi; in tal modo la trasmissione delle vibrazioni è ridotta al minimo.

Misure di laboratorio - Per valutare le prestazioni del giradischi Philips AF877 si è installata sul suo braccio una testina Sonus Red Label; l'operazione è risultata molto semplice, grazie alla struttura aperta del guscio ed alla mascherina guida che indica il corretto posizionamento della puntina. Il sistema indicatore della forza d'appoggio, adottato dalla Philips, elimina la necessità di bilanciare prima il braccio e poi di impostare la forza di appoggio desiderata, quindi è stato sufficiente ruotare semplicemente il contrappeso sino a che, con il braccio posato sul suo supporto, il sistema misuratore della forza d'appoggio non indicava il valore desiderato.

Un confronto con una bilancia molto precisa ha rivelato che l'errore del dispositivo di misura incorporato nel giradischi è inferiore a 0,1 g sull'intero campo utile. L'errore di tangenzialità è anche risultato minimo, nei limiti consentiti da un braccio con movimento circolare e di simile lunghezza; esso era appena rilevabile visualmente e sempre minore di 0,15 gradi per centimetro di raggio nella fascia che dista da 6,5 cm a 15 cm dal perno del piatto. La capacità verso massa

misurata all'uscita di ciascun canale, compresa quella del cavo collegato all'apparecchio, è risultata di 70 pF, cioè molto bassa.

Il successo dello sforzo compiuto dalla Philips per ridurre al minimo la massa del braccio è stato confermato dalle misure effettuate, le quali hanno indicato una massa efficace, in corrispondenza della puntina, di soli 16,5 g; poiché questo valore include quello della testina, che è di 5,5 g, la massa efficace del solo braccio è risultata appena di 11 g. La ridotta massa del braccio, unita all'elasticità piuttosto elevata della testina Sonus, hanno dato luogo sul giradischi ad una risonanza centrata intorno a 10 Hz: una frequenza ideale per evitare problemi derivanti da ondulazioni del disco e perdite di risposta alle frequenze piú basse. L'ampiezza della risonanza è risultata per di piú molto bassa, cioè di soli 3 dB o 4 dB.

Le fluttuazioni rapide di velocità (flutter) non sono risultate cosí basse come dichiarato dalla casa costruttrice, ma la misura di questo parametro è spesso soggetta alle differenze tra i dischi di prova ed all'interpretazione soggettiva dello strumento di misura. Il valore di picco del flutter, pesato come prescritto dalle norme DIN, è risultato dello 0,09% ed il suo valore efficace, pesato secondo le norme JIS, è risultato dello 0,07%. Mediante un analizzatore di spettro si è constatato che le componenti del flutter sono concentrate in prossimità di 15 Hz. Il rombo misurato senza pesatura (NAB) è risultato di −34 dB ed era composto principalmente da frequenze attorno a 8 Hz. Quando si è misurato questo parametro con la pesatura ARLL, che attenua le frequenze al di sotto di 500 Hz con una pendenza di 6 dB per ottava, si è ottenuto l'impressionante valore di −66 dB. Sotto questo aspetto il Mod. AF877 risulta un giradischi molto silenzioso: il suo rumore infatti è almeno 6 dB al di sotto di quello di un normale giradischi a trazione diretta.

Il dispositivo per la compensazione della forza centripeta è completamente staccato dal braccio, quindi esso può essere regolato mentre si sta riproducendo un disco; l'operazione va fatta cercando la posizione che dà la stessa distorsione sui due canali e usando uno speciale disco di prova che sottoponga la testina ad elevate velocità di spostamento. Si è riscontrata una buona precisione di taratura nella scala del dispositivo di compensazione: nella posizione che forniva i migliori risultati il valore indicato corrispondeva infatti alla forza d'appoggio con uno scarto massimo di 0,25 g. La maggior parte dei giradischi richiede, per ottenere una perfetta compensazione, che il dispositivo di compensazione sia portato su un valore circa 1 g piú alto che il valore della forza di appoggio usata. Il meccanismo per il sollevamento e l'abbassamento del braccio ha mostrato un funzionamento molto dolce; il braccio non si spostava quasi per nulla verso l'esterno durante l'operazione di discesa: si è constatato che veniva ripetuto al massimo un secondo o due del programma musicale. Il ciclo di spegnimento automatico che inizia al termine del disco, o quando viene toccato l'apposito tasto (REJECT), viene portato a termine in circa 12 s.

La velocità del piatto è indicata da una serie di nove LED rossi

Il dispositivo a LED fornisce un'indicazione molto chiara della velocità del giradischi; si è constatato che il LED centrale restava acceso su un intervallo di velocità pari circa al ±0,3% intorno al valore nominale; se però si aveva cura di porre la manopolina di regolazione della velocità nella posizione intermedia tra i due estremi di tale campo, si otteneva sempre una velocità che differiva meno dello 0,1% dal valore nominale. Il campo di variazione della velocità ottenibile con l'apposito comando è risultato all'incirca pari a quello nominale, cioè del 3%.

Si pensava che, grazie all'uso di sospensioni a molle che isolano il piatto ed il braccio dalla base, il giradischi Mod. AF877 risultasse particolarmente insensibile alle vibrazioni condotte attraverso la base di appoggio; questa previsione si è dimostrata vera, ma l'isolamento dalle vibrazioni non è risultato cosí assoluto come in altri giradischi, dotati di una base molto pesante e di supporti di isolamento in materiale morbido. Nonostante questa limitazione, il Mod. AF877 supera, sotto questo aspetto, la media dei giradischi con trasmissione a cinghia ed anche parte degli apparecchi a trazione diretta. Il sistema di sospensione è abbastanza morbido da consentire di scuo-

CARATTERISTICHE TECNICHE

Caratteristica	Valore nominale	Valore misurato
Fluttuazioni di velocità (wow e flutter)	0,05% DIN 0,03% del valore efficace pesato	0,09% DIN 0,07% del valore efficace pesato (JIS)
Rombo	– 50 dB DIN A – 70 dB DIN B	– 34 dB NAB – 66 dB ARLL
Campo di regolazione della velocità	± 3%	Confermato
Errore di tangenzialità del braccio (max)	0,15 gradi/cm	0,16 gradi/cm
Attrito dei perni	Minore di 15 mg	Non misurato
Frequenza di risonanza	10 Hz (con testina di prova Philips)	10 Hz (con testina Sonus Red Label)
Massa efficace	16,5 g	11 g

tere l'intero giradischi, anche con un certo vigore, senza che la puntina perda il contatto con il solco del disco; compiendo un'operazione del genere si manifestava soltanto un momentaneo effetto di "wow".

Impressioni d'uso - Le prestazioni globali del giradischi Philips Mod. AF877 sono state soddisfacenti: esso si è dimostrato eccezionale sotto quasi tutti gli aspetti, ed ogni suo pezzo ha funzionato esattamente come previsto. Nella maggior parte dei giradischi invece vi è sempre qualche funzione che richiede l'uso di qualche "trucco" per dare i migliori risultati; ad esempio molti bracci, anche se accuratamente bilanciati nel piano orizzontale, non danno una forza d'appoggio corrispondente al valore indicato ed è perciò necessaria una taratura mediante una bilancia esterna; la maggior parte dei sistemi per la compensazione della forza centripeta, quando sono regolati in modo da indicare la forza d'appoggio usata, danno una compensazione decisamente insufficiente; per molti bracci, infine, non esiste un modo univoco e preciso per il corretto posizionamento della puntina.

Questi ed altri pur piccoli inconvenienti sono risultati del tutto assenti sul Modello AF877: l'apparecchio si è comportato sempre perfettamente e le sue prestazioni sono apparse, sotto molti aspetti, al di sopra di quelle che normalmente si riscontrano su giradischi di pari prezzo.

Il rombo è risultato 6 dB più basso di quello tipico dei modelli a trazione diretta

Il sistema a controllo diretto per la regolazione della velocità ha mantenuto questa costante anche se al piatto veniva applicato un carico relativamente forte: premendo sul disco uno spazzolino od un panno per la pulizia, la velocità si abbassava momentaneamente, per poi tornare al valore corretto nel tempo di un secondo o poco piú, il che è indice di una buona riserva di coppia nel sistema di trazione. Uno dei principali vantaggi derivanti dall'uso di un braccio con massa assai ridotta è la sua capacità di leggere dischi anche fortemente ondulati; infatti il giradischi Mod. AF877 si è dimostrato in grado di riprodurre anche dischi di questo genere, senza che si manifestassero inconvenienti piú gravi di un momentaneo "wow" o di qualche leggero tonfo in corrispondenza del passaggio sulla cresta dell'ondulazione. ★

Pulsatore ad alta corrente per LED

I LED infrarossi sono sorgenti ottiche ideali per controlli a distanza, elementi sensibili di oggetti con raggio riflesso o interrotto, dispositivi di segnalazione e per l'interruzione della pubblicità televisiva. Tuttavia, a meno che non venga usato un efficiente dissipatore di calore, la maggior parte di questi LED è ristretta ad una corrente massima continua diretta di non piú di 100 mA. Con questa corrente, un LED al GaAs:Si fornirà da 6 mW a 10 mW di potenza ottica, il che equivale circa alla radiazione visibile emessa da una piccola lampadina focalizzata per torcetta elettrica con una o due pile.

Facendo pulsare rapidamente un LED a livelli di corrente molto alti, è possibile ottenere potenze d'uscita molto piú elevate. Ad esempio, un LED G.E. 1N6264 che emetta 6 mW con una corrente diretta di 100 mA, emetterà 60 mW se alimentato da impulsi di 1 A larghi pochi microsecondi.

Nella *fig. 1* è illustrato un semplice circuito che può fornire a un LED impulsi ad alta corrente. Questo pulsatore è considerevolmente piú potente del modulo trasmettitore a LED, descritto sul numero di Gennaio del corrente anno, a pag. 38. Con i valori specificati per i componenti, esso applicherà a un LED vigorosi impulsi di 2,7 A ad una frequenza di circa 100 Hz. Tali impulsi sono larghi circa 17 μs e si possono facilmente rivelare mediante un semplice ricevitore con fototransistore, come quello descritto nel numero di Dicembre 1980, a pag. 40. La corrente assorbita da una piccola batteria al mercurio da 7 V è di 5 mA.

Con il pulsatore si possono usare molti tipi diversi di LED; per la maggior parte di essi la corrente di picco è tre volte superiore a quella continua caratteristica. Applicando impulsi ancora piú elevati, il LED non verrà necessariamente distrutto, ma si potrà accorciare la sua durata. Per i migliori risultati si usino emettitori al GaAs:Si anziché diodi al GaAs; tra i migliori citiamo il TIL-32 della Texas Instruments, il tipo 1N6264 della General Electric e gli OP-190 e OP-195 della Optron.

Se si incontrano difficoltà nel reperire i transistori specificati nella *fig. 1*, si possono usare per Q1 comuni dispositivi n-p-n al silicio, come i tipi 2N3904 o 2N2222. La scelta di Q2 è invece piú critica: se al LED si deve fornire la corrente massima, Q2 deve essere un transistore al germanio. Una giunzione p-n al germanio ha una caduta di tensione in senso diretto piú bassa che non una giunzione p-n al silicio, e ciò fa sí che un transistore al germanio abbia in conduzione una resistenza effettiva piú bassa. Quindi, se viene usato un dispositivo al germanio, il LED riceve maggiore corrente.

Il tipo 2N1132 è il piú adatto per Q2, mentre il tipo 2N1305 è piú facile da trovare e fornisce al LED circa 2 A. Se però non si riesce a reperire un transistore al germanio, si può usare un comune transistore di commutazione p-n-p al silicio come il 2N3906 o il 2N2907; in tal caso al LED sarà fornita una corrente minore, ma l'uscita ottica sarà adeguata per molte applicazioni.

Ad esempio, se Q1 è un 2N3904, Q2 un 2N3906 e se il circuito viene alimentato con una normale batteria da 9 V, al LED verranno forniti impulsi di 1,1 A. Poiché le caratteristiche dei transistori al silicio sono differenti, la frequenza di ripetizione salirà a 1.400 Hz e l'assorbimento di corrente aumenterà fino a circa 100 mA. Ciò è sufficiente per esaurire rapidamente anche una batteria alcalina e quindi, per ottenere i migliori risultati, si deve aumentare la resistenza di R1 per ridurre la frequenza di ripetizione degli impulsi e la corrente di funzionamento. Ad esempio, se il valore di R1 viene portato a 1 MΩ, la frequenza di ripetizione scenderà a 120 Hz e l'assorbimento di corrente al valore piú ragionevole di 8 mA.

Dopo aver scelto i vari componenti, si può montare una versione permanente del

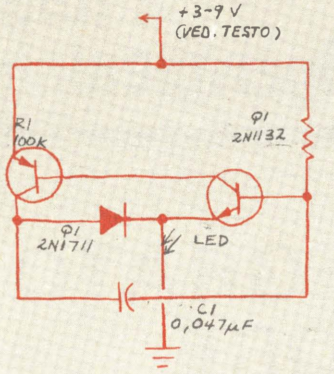


Fig. 1 - Pulsatore ad alta corrente per LED.

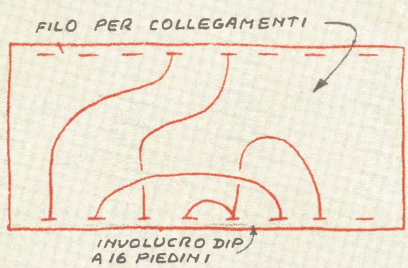


Fig. 2 - Collegamenti del pulsatore per LED

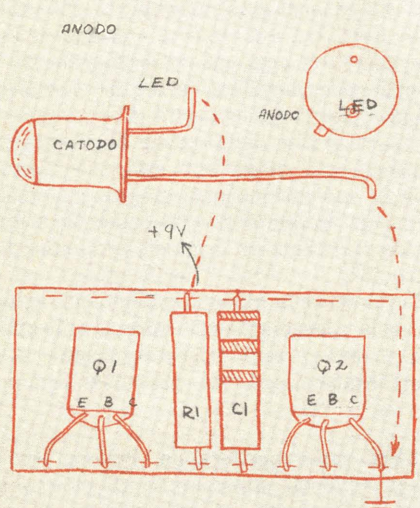


Fig. 3 - Disposizione dei componenti del pulsatore.

pulsatore per LED entro un involucro DIP o su una basetta perforata delle dimensioni di un francobollo, installando poi il pulsatore stesso, la batteria, l'interruttore e una lente regolabile entro un tubicino d'ottone.

La *fig. 2* mostra come montare il pulsatore in un involucro DIP, se vengono usati transistori al silicio con involucri di plastica; si colleghino tra loro i piedini dell'involucro DIP ma non si saldino ancora i collegamenti. Si utilizzino fili di collegamento un po' piú lunghi del necessario e si fissino al loro posto avvolgendone le estremità libere sotto l'involucro DIP.

Nella *fig. 3* è illustrata la disposizione dei componenti. Per rendere il montaggio compatto il piú possibile, si impieghi per C1 un condensatore tubolare miniatura anziché uno ceramico a disco. Qualsiasi valore di capacità tra 0,01 μF e 0,05 μF può servire, ma i valori piú bassi aumenteranno la frequenza di ripetizione degli impulsi e ridurranno alquanto la corrente fornita al LED. Se per C1 si deve usare un condensatore a disco, si provi a ripiegarlo sotto la parte superiore dell'involucro DIP, in modo da ridurne l'ingombro e da avere piú spazio per il LED.

Se invece per C1 si utilizza un condensatore tubolare miniatura, il circuito completo occuperà soltanto metà spazio nel coperchio dell'involucro DIP. Anziché installare il coperchio, si possono tagliare tutti i piedini dell'involucro, montandolo poi su un terminale a innesto recuperabile da una batteria da 9 V. In tal caso, le strisce conduttrici di ciascun terminale vanno tagliate su misura e ripiegate sopra ciascuna estremità dell'involucro per fissarlo al suo posto. Avendo cura di rispettare le polarità, si saldano poi fili di collegamento corti tra l'involucro e le due strisce metalliche. Come risultato si dovrebbe ottenere un minuscolo ma potente trasmettitore a LED, innestabile direttamente nei terminali di una batteria da 9 V.

Sia che vengano impiegati transistori al germanio sia che si utilizzino tipi al silicio, con un po' di attenzione si può installare il pulsatore completo entro una torcetta elettrica, un tubetto da rossetto, o in un altro piccolo contenitore. Anche se un pulsatore al germanio è piú potente, un pulsatore al silicio può proiettare un raggio ricevibile di notte a 300 m di distanza o piú, usando un semplice ricevitore con fototransistore, purché si utilizzino lenti da 5 ÷ 7 cm di diametro alle due estremità del collegamento. ★

L'Angolo dello Sperimentatore

CIRCUITO INTEGRATO TEMPORIZZATORE DI INTERVALLO

Un temporizzatore d'intervallo è un circuito che fornisce in uscita, ad intervalli periodici, un impulso di larghezza predeterminata; una funzione del genere può essere facilmente ottenuta usando uno dei circuiti integrati temporizzatori attualmente a disposizione degli appassionati di elettronica. Molti circuiti integrati temporizzatori, quali il ben noto 555, sono capaci non soltanto di svolgere un lavoro del genere, cioè di funzionare come multivibratori astabili, ma possono anche servire come multivibratori monostabili, o "ad un solo colpo".

Nel diagramma temporale che compare nella *fig. 1* sono posti a confronto il funzionamento di un multivibratore monostabile e quello di un temporizzatore d'intervallo; come si può rilevare, il temporizzatore monostabile è un dispositivo che serve per attivare un'unità od un circuito esterno per un periodo fisso, o dopo un periodo fisso; un temporizzatore d'intervallo emette invece impulsi di durata uniforme con cadenza regolabile.

Molti lettori avranno probabilmente già una certa familiarità con diverse applicazioni dei temporizzatori monostabili; esempi tipici si hanno negli interruttori automatici che spengono le luci dell'automobile circa un minuto dopo che è stata tolta la chiave d'accensione, nei dispositivi antifurto ad azione ritardata, nei circuiti antirimbalzo per interruttori, nei temporizzatori per cucina e camera oscura, ecc.

Benché le applicazioni per i temporizzatori di intervallo non siano altrettanto numerose, due di esse sono particolarmente interessanti: la ripresa di fotografie in successione e le registrazioni sonore in successione.

Esempi di fotografia in successione sono lo sbocciare di un fiore, la formazione di una nuvola, la costruzione di un edificio, ecc. Analogamente, le registrazioni sonore in successione possono memorizzare campioni periodici di dati, codificati in forma di toni acustici, od anche solo campioni del suono ambientale. Un interessante esempio dell'ultima categoria consiste nel comprimere l'evolversi nelle ventiquattro ore dei rumori di un incrocio stradale molto frequentato in una registrazione della durata di un minuto; un'altra applicazione può essere la registrazione in successione di brevi brani prelevati da dischi, programmi radio o conversazioni, cosí da realizzare un originale programma su nastro.

Ovviamente la fotografia e la registrazione sonora in successione non sono le sole applicazioni per i temporizzatori d'intervallo: questi infatti si prestano per molti altri possibili usi.

Il 555 come monostabile - Benché la maggior parte degli appassionati di elettronica abbia già montato, in forma provvisoria o definitiva, circuiti che fanno uso di un temporizzatore 555, pochi conoscono nei dettagli il funzionamento di questo circuito inte-

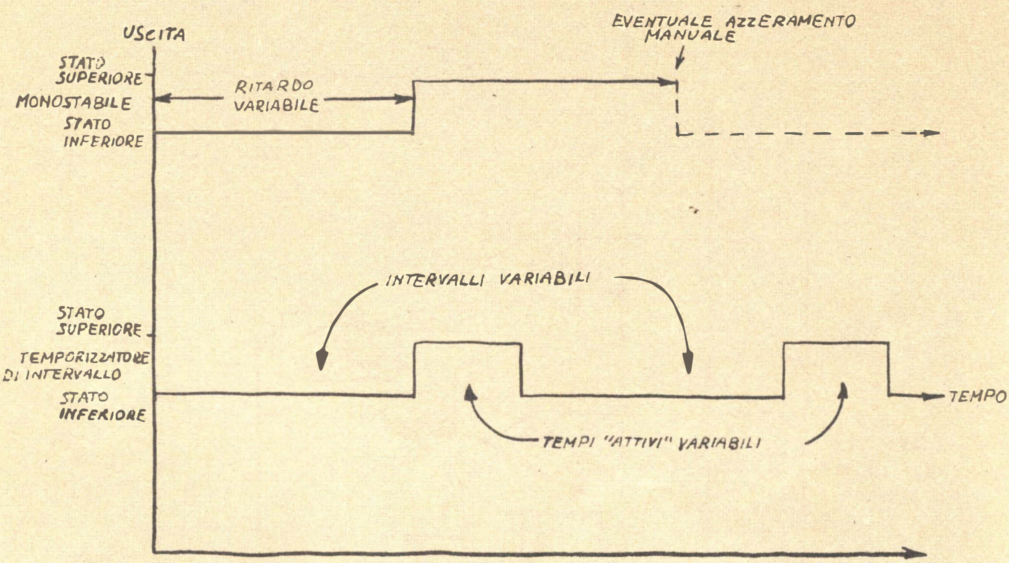


Fig. 1 - Andamento temporale delle forme d'onda generate da un multivibratore monostabile (sopra) e da un temporizzatore d'intervallo (sotto).

grato. A titolo informativo, per chi non ha sufficienti nozioni in merito, viene riassunto il sistema di funzionamento del 555 come monostabile.

Nella *fig. 2* è illustrato lo schema a blocchi semplificato di un 555 collegato come temporizzatore monostabile. La sua sezione fondamentale comprende due comparatori di tensione, VC1 e VC2, che rivelano quando il condensatore di temporizzazione (C1) raggiunge un determinato livello di carica o di scarica.

Per capire come funziona il 555 si supponga che il circuito della *fig. 2* sia nello stato di riposo, cioè che il flip-flop di comando sia azzerato e Q1 sia in conduzione. Il condensatore C1 perciò è cortocircuitato da Q1 e non può caricarsi; l'uscita del circuito (piedino 3) è allora allo stato logico inferiore. Un impulso negativo applicato all'ingresso di sincronismo o innesco (TRIGGER), cioè al piedino 2, manda per un istante allo stato logico superiore l'uscita del comparatore VC2, attivando cosí il flip-flop di comando. Questa azione manda Q1 in interdizione e dà inizio alla carica esponenziale di C1, la cui velocità è determinata dai valori di C1 e di R1; durante la carica il piedino 3, cioè l'uscita, è allo stato logico superiore.

Si notino i tre resistori da 5 kΩ collegati in serie e incorporati nel 555; essi formano un divisore di tensione che polarizza l'ingresso senza inversione del comparatore VC2 ad un terzo della tensione di alimentazione e l'ingresso del comparatore VC1 a due terzi della tensione di alimentazione. Quando la tensione su C1 raggiunge i due terzi della tensione di alimentazione, l'uscita del comparatore VC1 va allo stato logico superiore ed azzera il flip-flop di comando; ciò manda Q1 in conduzione e cortocircuita nuovamente C1. L'uscita, che a questo punto è scesa nuovamente al potenziale di massa, resta in tale stato sino a quando non è trascorso l'intero periodo scelto come intervallo tra un impulso e l'altro; il termine di tale periodo è determinato dall'invio di un nuovo impulso di sincronismo sul piedino 2.

Questa breve spiegazione dovrebbe essere sufficiente a chiarire il meccanismo fonda-

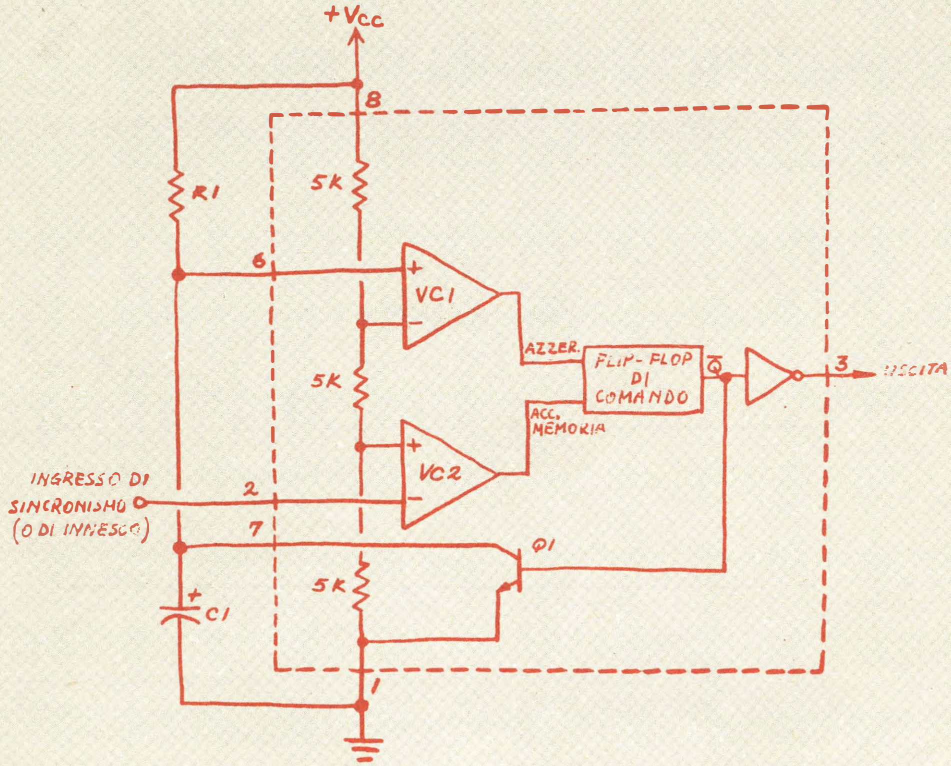


Fig. 2 - Schema semplificato che spiega il funzionamento interno di un circuito integrato temporizzatore 555. I componenti esterni R1 e C1 determinano il periodo.

mentale di funzionamento del 555 come monostabile. E' evidente come sia possibile ottenere con facilità il tempo di ritardo voluto attraverso un'opportuna scelta dei componenti R1 e C1. Se si desidera avere ritardi molto lunghi (oltre qualche minuto), è importante utilizzare per C1 un componente con corrente di perdita estremamente bassa; in caso contrario il condensatore non riuscirà mai a caricarsi a dovere ed il circuito non funzionerà correttamente.

Il 555 come temporizzatore d'intervallo - Un 555 montato come monostabile può funzionare unicamente come temporizzatore ad un solo ritardo: per dare inizio ad un nuovo ciclo, è necessario un impulso di comando esterno. Un temporizzatore d'intervallo invece può essere costruito collegando l'uscita di un 555, funzionante come oscillatore libero (multivibratore astabile), all'ingresso di sincronismo di un altro 555 usato come monostabile. In tal caso il periodo di oscillazione del multivibratore astabile determinerà l'intervallo tra l'emissione di un impulso e quella dell'impulso successivo, mentre la costante di tempo RC del monostabile stabilirà la durata dell'impulso d'uscita che viene emesso ogni intervallo di temporizzazione.

Nella *fig. 3* è riportato lo schema di un temporizzatore d'intervallo costruito con due 555. Con i valori dei componenti indicati nella figura, si possono ottenere intervalli lunghi sino ad alcuni minuti (determinati dai valori di R1 e C1). Si noti come l'impulso in uscita dal primo 555 sia portato direttamente all'ingresso del secondo 555, il quale ha la funzione di monostabile. L'uscita di quest'ultimo è collegata, attraverso D1, alla bobina di un relè a bassa tensione; il dio-

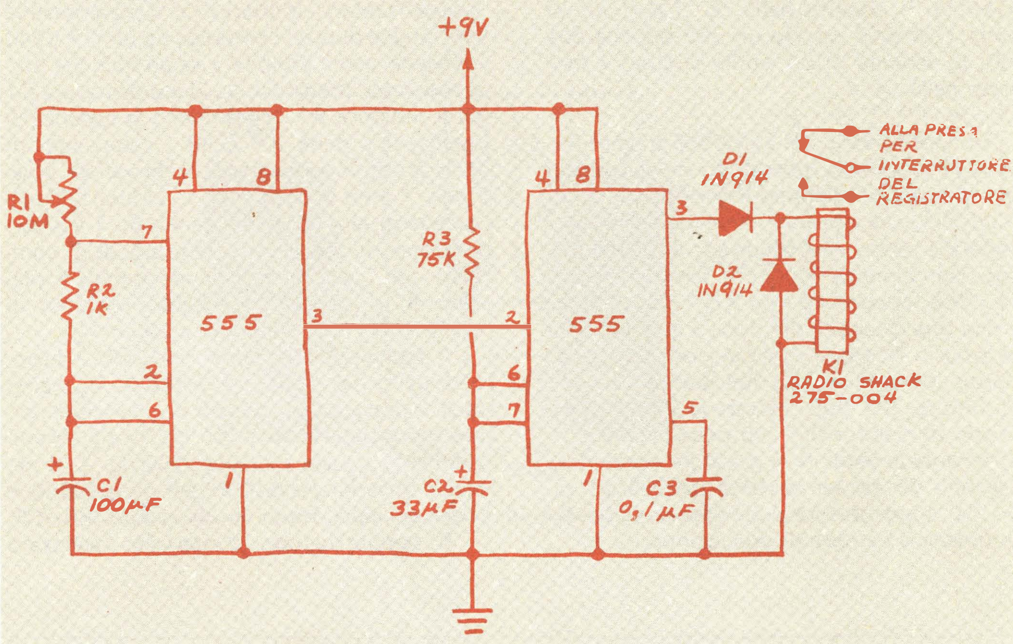


Fig. 3 - Temporizzatore d'intervallo che impiega un 555 come multivibratore astabile per comandare un secondo circuito integrato funzionante come monostabile. Il relè K1 comanda un circuito esterno.

do D2 cortocircuita la forte sovratensione induttiva che si manifesta ai capi della bobina quando la corrente che scorre in essa viene interrotta, esercitando cosí una funzione di protezione per lo stadio d'uscita del 555.

I valori di R3 e di C2 determinano la lunghezza del periodo per cui il relè resta attivato dopo ogni ciclo di temporizzazione; i valori indicati nella figura mantengono il relè eccitato per 5 s; per far variare questo intervallo, basterà cambiare il valore di R3 o di C2, oppure quello di entrambi.

I contatti del relè possono essere usati per inserire o disinserire i circuiti ed i dispositivi piú diversi; nella *fig. 3*, ad esempio, è indicato che i contatti normalmente aperti sono portati alla presa per interruttore di un registratore a nastro. Questa presa, che su molti registratori a cassette si trova immediatamente vicina a quella del microfono, permette di accendere e spegnere il registratore mediante un interruttore esterno, normalmente inserito nel corpo del microfono.

Se si intende collegare il relè ad un registratore a nastro, basterà usare lo spinotto appropriato; se invece si desidera collegarlo ad altri circuiti, si dovrà risolvere il problema della connessione caso per caso (per motivi di sicurezza, non si colleghi *mai* il relè ad un circuito la cui tensione superi quella massima nominale dei contatti del relè, né si usi *mai* un relè privo di involucro isolante per interrompere la tensione di rete. Per evitare ogni pericolo, è preferibile compiere esperimenti soltanto su applicazioni a bassa tensione).

Temporizzatore d'intervallo con 556 - Il circuito integrato 556 è costituito da una

coppia di 555, realizzati sulla stessa piastrina di silicio. Il circuito della *fig. 3* può quindi essere costruito usando un 556 anziché due 555; lo schema di un simile circuito è mostrato nella *fig. 4*.

Temporizzatore XR-2240/555 a lunga durata - A causa della dispersione nel condensatore di temporizzazione, il periodo massimo di un 555, che funzioni come multivibratore astabile, è normalmente limitato ad alcuni minuti. Nel circuito integrato temporizzatore XR-2240 (oppure nel tipo XR-2340) è incorporata una catena di divisione a flip-flop, che ha proprio lo scopo di allungare il tempo di ritardo fondamentale, moltiplicandolo per un fattore che può arrivare a 255. Poiché l'uscita di ciascun flip-flop della catena è direttamente accessibile, è possibile selezionare intervalli diversi senza dover cambiare i valori del condensatore e del resistore che determinano il periodo di oscillazione.

Nella *fig. 5* è riportato lo schema di un temporizzatore d'intervallo programmabile per lunghe durate, composto da un XR-2240 collegato come astabile e da un 555 che funziona come monostabile. Il condensatore C1 ed il resistore R1 determinano la cadenza di oscillazione dello XR-2240. I valori indicati nello schema permettono di far variare il periodo T sino a circa 100 s. Le uscite corrispondenti ai piedini che vanno da 1 a 8 permettono di selezionare multipli di T compresi tra 1 e 128. Scegliendo perciò il piedino 8, si otterrà un ritardo massimo di 128 x 100 s, cioè superiore a 200 min.

Il segnale, proveniente dall'uscita selezionata dello XR-2240, è invertito da Q1 e portato, attraverso C4, al 555 che funziona come monostabile, ed il cui circuito è sostanzialmente uguale a quello della *fig. 3*. Il periodo di temporizzazione del monostabile è regolato dalla costante di tempo R6 - C5.

Il temporizzatore d'intervallo realizzato

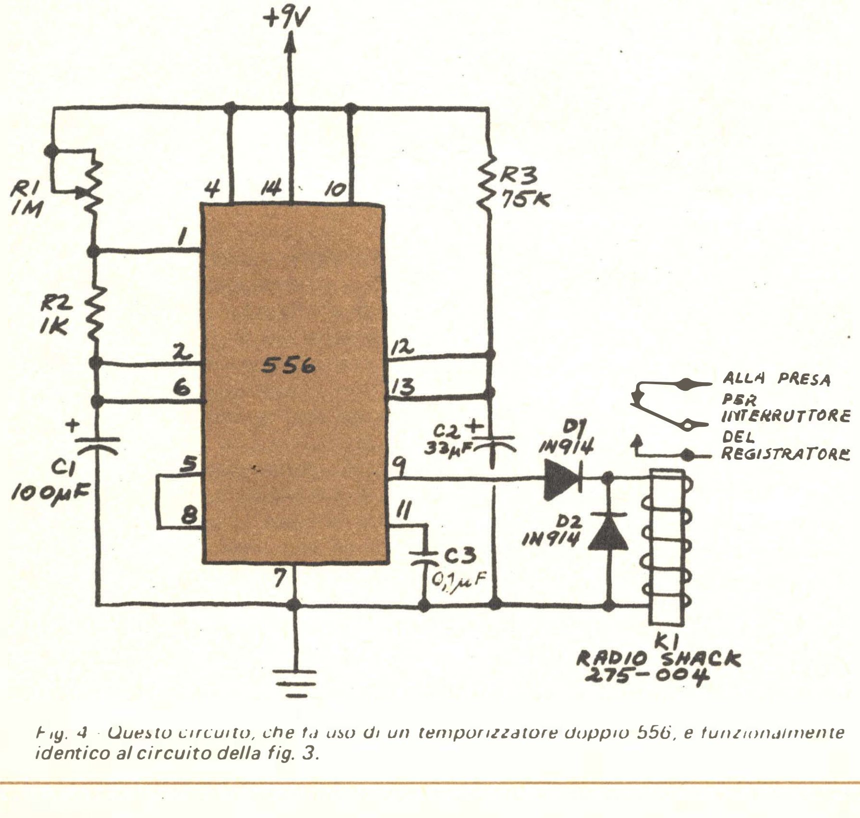


Fig. 4 - Questo circuito, che fa uso di un temporizzatore doppio 556, è funzionalmente identico al circuito della fig. 3.

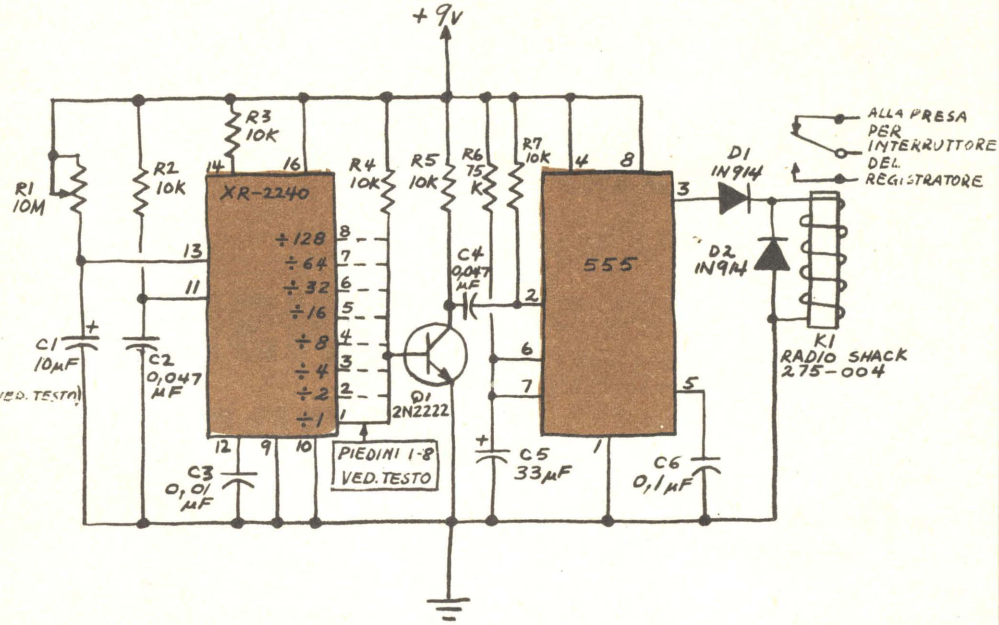


Fig. 5 - Temporizzatore d'intervallo programmabile per intervalli di lunga durata, il quale impiega un XR-2240 funzionante come astabile e un 555 come monostabile. Il relè K1 comanda un circuito esterno.

con un XR-2240 ed un 555 è di gran lunga piú versatile che quello costruito con due 555 o con un 556, poiché con esso si possono ottenere intervalli anche di diverse ore. La messa a punto del circuito può però presentare qualche problema se si cerca di portare a termine l'operazione quando sia stato selezionato il piedino 8; la taratura dell'intervallo risulta molto piú agevole se la si esegue dopo aver selezionato il piedino 1. Se ad esempio si desidera avere un intervallo di temporizzazione pari ad un'ora (3.600 s), si regoli R1 sino a quando l'intervallo, misurato dopo aver selezionato il piedino 1, sia di 28,13 s; in queste condizioni gli impulsi si presenteranno sul piedino 8 con un intervallo, tra l'uno e l'altro, pari a 128 x 28,13 = = 3.600 s.

Si noti per inciso che, quando il dispositivo XR-2240 viene utilizzato come monostabile, cioè comandato da un impulso di sincronismo esterno, è possibile selezionare diverse combinazioni delle sue uscite, in modo da ottenere un qualsiasi intervallo compreso tra T e 255T. Questa procedura non dà invece i risultati desiderati se il dispositivo funziona come astabile.

E' possibile però sfruttare tutta la versatilità del XR-2240 facendolo funzionare come monostabile ed eccitandolo con impulsi dall'esterno; anche in questo caso esso continuerà ad essere usato per avviare il monostabile costruito con il 555, il quale formerà il breve intervallo "attivo" allo scadere di ogni intervallo. Il tempo di ritardo che si ottiene combinando piú uscite, cioè portandole insieme ad una via di segnale comune, è la somma dei tempi corrispondenti alle uscite selezionate; combinando ad esempio le uscite 4T, 8T e 128T, si otterrà un ritardo totale multiplo di T, con fattore 4 + 8 + 128, pari cioè a 140T. ★

RIFERIMENTI DI PRECISIONE per TENSIONE E CORRENTE

In molte applicazioni, ad esempio per tarare la scala verticale degli oscilloscopi oppure per controllare le indicazioni dei voltmetri e degli amperometri, sono indispensabili riferimenti di tensione e di corrente caratterizzati da elevata precisione. Essi servono anche nel campo dell'elaborazione dei dati, poiché quasi tutti i convertitori analogico-numerico e numerico-analogico fanno uso di un riferimento di tensione o di corrente. Anche gli alimentatori stabilizzati che impiegano un amplificatore d'errore richiedono precisi riferimenti di tensione (l'uscita dell'amplificatore d'errore comanda l'azione di regolazione; l'errore che viene amplificato è la differenza tra la tensione d'uscita e quella di riferimento).

Sino a pochi anni fa i riferimenti di precisione erano alquanto costosi; oggi, grazie ad economici circuiti integrati, è invece possibile costruire riferimenti di precisione senza incorrere in una spesa eccessiva.

Prima di esaminare in dettaglio i circuiti integrati usati come riferimenti di corrente e di tensione, tratteremo i metodi usati in passato, per cui i principi di funzionamento di questi circuiti saranno piú facilmente comprensibili.

Diodo zener - Nella *fig. 1* è mostrato un semplice circuito in cui un diodo zener serve da elemento regolatore; nella stessa figura

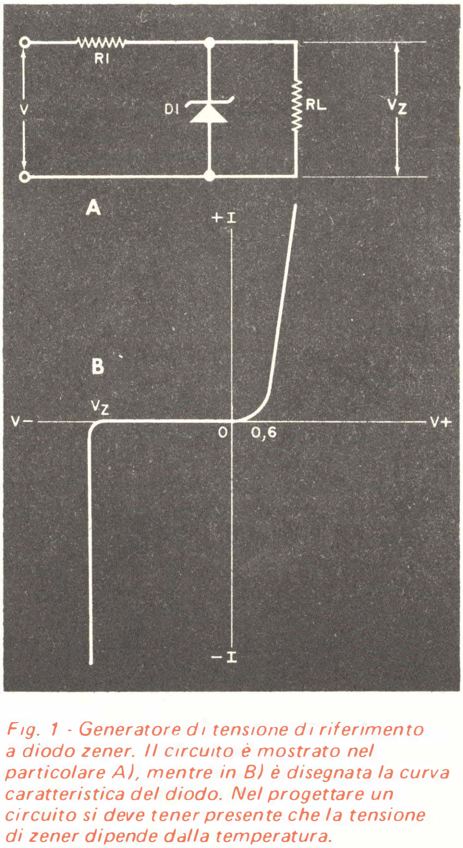


Fig. 1 - Generatore di tensione di riferimento a diodo zener. Il circuito è mostrato nel particolare A), mentre in B) è disegnata la curva caratteristica del diodo. Nel progettare un circuito si deve tener presente che la tensione di zener dipende dalla temperatura.

Facili ed economici riferimenti per verificare la precisione degli strumenti di misura

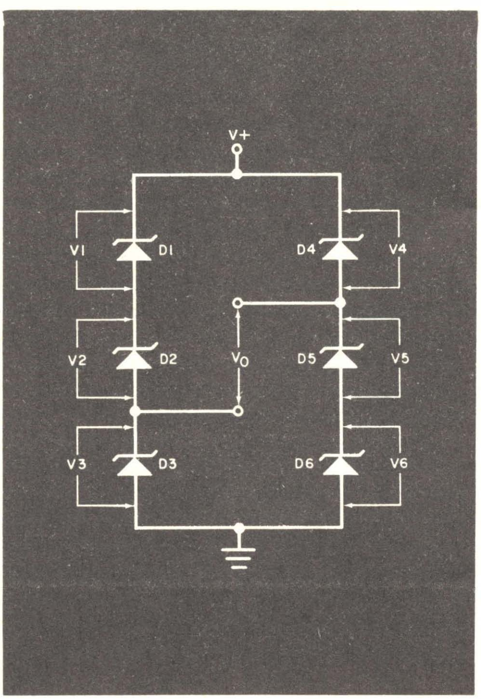


Fig. 2 - Per stabilizzare le derive causate da cambiamenti di temperatura si può usare un insieme di più diodi zener.

compare anche la caratteristica tipica di tale diodo. Nella zona di polarizzazione positiva (V+) il diodo zener si comporta esattamente come ogni altro diodo al silicio, cioè lascia passare una corrente +I quando la V+ è superiore a circa 0,6 V. Nella zona di polarizzazione inversa (V−) si rileva invece una netta differenza tra un diodo zener ed un diodo al silicio.

Normalmente un diodo al silicio non lascia passare corrente quando è polarizzato inversamente (a meno che la tensione inversa applicata non superi la tensione inversa di picco nominale, o PIV, del diodo stesso). Un diodo zener si comporta piú o meno allo stesso modo per tensioni inverse comprese tra 0 ed un certo valore (detto "potenziale di zener") indicato con il simbolo V_Z. Allorché V− raggiunge o supera V_Z, il diodo lascia passare la corrente inversa.

Sino a quando la temperatura ambiente viene mantenuta costante, anche la V_Z resta costante. Si tenga presente che il valore di V_Z è vario a seconda dei diversi tipi di diodi zener e che il valore indicato per un certo tipo di diodo è sempre solo un valore "nominale"; ciò significa in pratica che un gruppo di diodi teoricamente identici avrà valori di V_Z che si avvicinano molto al valore indicato.

Quando si progetta un alimentatore di precisione o una sorgente di tensione di rife-

rimento si devono tener presenti entrambe le considerazioni di cui sopra. In primo luogo si deve cioè fare in modo che il diodo funzioni in un ambiente a temperatura costante o, in caso contrario, prevedere l'uso di circuiti per la compensazione di temperatura. In secondo luogo si dovrà selezionare tra molti il diodo con la tensione dovuta oppure fare in modo che la tensione d'uscita del circuito sia regolabile; si potrà cosí ovviare all'inconveniente dato dal fatto che la tensione di zener non è sempre uguale a quella nominale.

Sfortunatamente la temperatura non può sempre essere mantenuta costante, specie se si vuole che il costo dell'apparecchiatura rimanga entro limiti accettabili. Nella *fig. 2* è illustrato un possibile metodo per risolvere il problema della dipendenza della tensione di zener dalla temperatura: vengono cioè impiegati diversi diodi zener collegati in modo da fornire in uscita la tensione V_O. La V_z dei diversi diodi varierà con il mutare della temperatura, ma se tutti i diodi sono tenuti nello stesso ambiente, ogni cambiamento di temperatura influenzerà allo stesso modo tutti i diodi; la tensione d'uscita, che è data dalla differenza di potenziale tra i due punti indicati sempre nella *fig. 2*, resterà costante al variare della temperatura. La tensione d'uscita è data dalla formula $V_O = (V5 + V6) - V3$.

Un problema che si presenta con il circuito rappresentato nella *fig. 2* e con altri circuiti analoghi sta nel fatto che la tensione d'uscita non è collegata a massa; se serve un riferimento di tensione con un collegamento a massa, la V_O dovrà allora essere applicata all'ingresso differenziale di un amplificatore operazionale. La tensione d'uscita dell'amplificatore operazionale sarà in questo caso uguale al prodotto del guadagno A_V dell'amplificatore per la tensione V_O, cioè $V_O \times A_V$.

Gli amplificatori operazionali sono sovente usati per disaccoppiare i regolatori a diodo zener dal resto del circuito e per permettere una precisa regolazione della tensione d'uscita. Il circuito normalmente usato nei generatori di tensione di riferimento è quello illustrato nella *fig. 3*; come è facilmente rilevabile, si tratta di un caso speciale di inseguitore di tensione senza inversione, nel quale il diodo D1 serve per fissare la tensione applicata all'ingresso senza inversione dell'amplificatore. Il guadagno di tensione di questo circuito è pari a $1 + R_A/R1$; la tensione d'uscita vale perciò $V_O = V_z(1 + R_A/R1)$. Il resi-

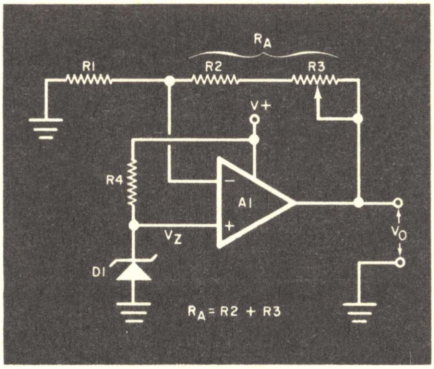


Fig. 3 - Regolando il guadagno dell'amplificatore operazionale (a questo scopo si agisce su R3), la tensione di uscita può essere portata esattamente al valore voluto.

store di reazione R_A è composto dal resistore fisso R2 in serie al potenziometro R3. Se R3 è un potenziometro semifisso a dieci o piú giri ed ha una resistenza totale corrispondente solo al 10% o 20% di R_A, la V_O può essere regolata con grandissima precisione.

Il circuito rappresentato nella *fig. 3* è usato per le applicazioni che richiedono una precisione non troppo elevata; esso necessita infatti di un ambiente a temperatura costante per mantenere stabile la V_O. Sia il diodo zener sia il guadagno dell'amplificatore operazionale tendono infatti a "slittare" se varia la temperatura; sono disponibili sul mercato dispositivi per la generazione di tensioni di riferimento nei quali è usato un circuito come quello della *fig. 3* installato in un contenitore a temperatura stabilizzata.

Riferimenti di precisione in circuito integrato - I riferimenti di tensione in circuito integrato permettono di costruire semplici generatori di tensione e corrente campione il cui comportamento è paragonabile a quello delle migliori sorgenti di riferimento a componenti discreti reperibili in passato.

Il circuito integrato LM199 (e gli analoghi LM299 e LM399), prodotto dalla National e rappresentato nella *fig. 4*, contiene un diodo zener, la cui V_z è di 6,95 V, ed un conduttore che ha la funzione di riscaldatore (il diodo zener è costruito sulla stessa piastrina di materiale semiconduttore su cui è depositato anche il riscaldatore. Questo ac-

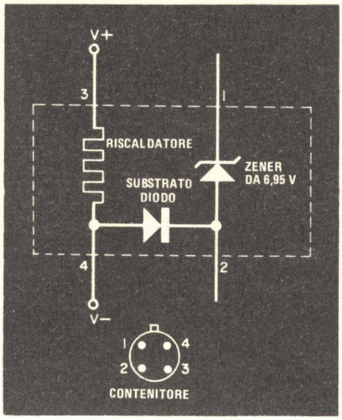


Fig. 4 - Il diodo zener LM199 stabilizzato in temperatura fa uso di un riscaldatore incorporato nella stessa piastrina di silicio.

corgimento permette un funzionamento a basso rumore e conferisce la necessaria stabilità termica). Normalmente un potenziale di zener cambia sino a 5 mV/°C, ma nel LM199, grazie alla stabilizzazione della temperatura, lo slittamento è limitato a pochi microvolt.

Anche se il LM199 ha una stabilità iniziale con valore nominale pari al ± 2% della tensione nominale, la sua stabilità è in pratica molto buona. La stabilità a lungo termine ha un valore nominale di 20 ppm (cioè parti per milione) e quella a breve termine il valore di 1 ppm. E' consigliabile l'uso del cappuccio d'isolamento termico fornito unitamente al LM199.

Nel normale funzionamento, il LM199 viene usato allo stesso modo di ogni altro diodo zener, dopo aver collegato i terminali del riscaldatore ad una sorgente di alimentazione compresa tra 9 e 40 V. I piedini 2 e 4 vengono normalmente collegati a massa per mantenere polarizzato inversamente il substrato interno. Il piedino 3 viene collegato all'alimentatore, mentre il catodo del diodo zener, cioè il piedino 1, viene collegato al circuito utilizzatore. In unione con il LM199 vengono spesso usati circuiti simili a quello mostrato nella *fig. 3*.

Un altro dispositivo di precisione che può essere usato come se fosse un diodo zener è il regolatore del tipo "bandgap" prodotto dalla Ferranti Electric. Sono disponibili versioni a 2,45 V ed a 1,26 V. La struttura di questi regolatori è mostrata nella *fig. 5*; il circuito interno è sostanzialmente un amplificatore operazionale seguito da un amplificatore di corrente, avente sull'ingresso senza inversione un diodo del tipo "bandgap" che serve come sorgente della tensione di riferimento. Questo tipo di diodo è un componente a due terminali che può essere usato come un normale diodo zener.

I circuiti integrati ZN404 e ZN458A/B, entrambi prodotti dalla Ferranti, sono regolatori da 2,45 V e differiscono tra loro nella precisione iniziale e nella deriva termica. Pur essendo tutti migliori di un normale diodo zener, lo ZN458B è il piú preciso di tutti (il tipo ZN423 è la versione a 1,26 V dello ZN458B). Tutti e tre i dispositivi della Ferranti possono assorbire sino a 120 mA ed hanno un campo di funzionamento da 2 mA a 120 mA.

La stabilità a lungo termine dei regolatori

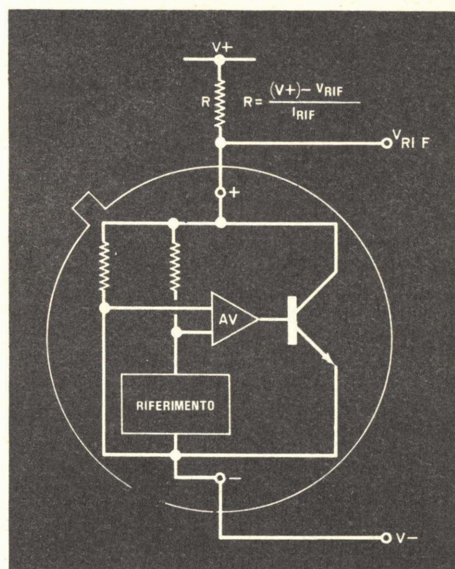


Fig. 5 - Gli stabilizzatori ZN404, ZN423T e ZN458A/B vengono usati come dispositivi a due terminali.

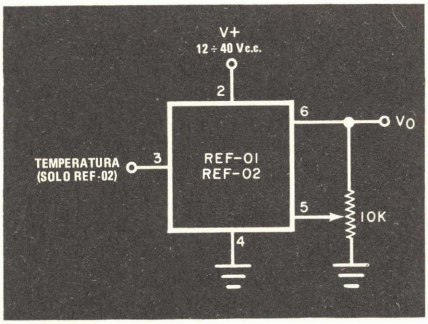


Fig. 6 - La sorgente di tensione di riferimento REF-02 della Precision Monolitics presenta in uscita sul piedino 3 una tensione dipendente dalla temperatura; esso può perciò essere usato come sensore per un termometro elettronico.

della Ferranti può avvicinarsi a 10 ppM/1.000 ore, mentre il coefficiente di temperatura ha un valore nominale di 0,003%. Il valore del resistore per la limitazione di corrente è dato da: $R = (V+ - V_{RIF})/I_{RIF}$ (R = resistenza in kiloohm; V + = tensione di alimentazione; V_{RIF} = valore nominale della tensione di riferimento propria del dispositivo; I_{RIF} = = corrente nel dispositivo).

Come per tutte le sorgenti di tensione di riferimento, il resistore usato per questo circuito deve avere un basso coefficiente di temperatura. Nella maggior parte dei casi viene a questo scopo usato un resistore di precisione del tipo a filo avvolto od a strato metallico. Fortunatamente l'effettivo valore di resistenza non è molto critico; se il valore di R calcolato non è compreso tra quelli della serie normalizzata, sarà dunque possibile scegliere il valore standard piú vicino; un'approssimazione del genere cambia la I_{RIF}, ma non la tensione d'uscita. Ad esempio, se uno ZN458B deve funzionare con un'alimentazione da +12 V ed essere attraversato da 10 mA, la R calcolata con la formula precedentemente citata sarebbe di 955 Ω; poiché questo valore non è semplice da realizzare, si potrà usare un resistore da 1.000 Ω; in questo caso però cambierà leggermente la corrente: da 10 mA a 9,6 mA.

I circuiti integrati REF-01 e REF-02 della Precision Monolitics, mostrati nella *fig. 6*, forniscono rispettivamente in uscita tensioni di 10,00 V e 5,00 V. La tensione in uscita dal REF-01, in assenza di regolazione esterna, cioè con il piedino 5 aperto, è compresa tra 9,9 V e 10,1 V; con la regolazione essa può essere portata nell'intervallo 10,00 V ± 300 mV, cioè fatta variare in un campo del ± 3%. Nella maggior parte delle applicazioni l'uscita potrà essere tarata esattamente a 10,00 V. Con regolazione esterna, il coefficiente di temperatura è di 0,7 ppm/°C.

Il circuito REF-01 può erogare sino a 20 mA e funziona con alimentazione compresa nel campo da +12 V a +40 V. In qualunque regolatore è comunque sconsigliabile avere una forte differenza tra tensione di alimentazione e tensione di uscita, poiché ciò aumenta la dissipazione di potenza e di conseguenza la temperatura.

Il circuito REF-02, con tensione nominale di 5 V, fornisce in uscita un valore compreso tra 4,975 V e 5,025 V; con regolazione esterna esso può essere portato nel campo 5,00 V ± 150 mV (ampiezza ±3%). La tensione d'ingresso può variare tra 7 V e 40 V; si tenga ancora presente però che è bene evitare una forte differenza di tensione tra ingresso ed uscita. Il circuito REF-02 differisce dal REF-01 per il fatto di avere un terminale d'uscita per la temperatura. L'uso di un regolatore interno del tipo "bandgap" fa in modo che sul piedino 3 si abbia una tensione che è approssimativamente di 2,1 mV/°C; questa particolarità permette di usare il REF-02 come sensore per un semplice termometro elettronico.

Il circuito per termometro in cui l'integrato REF-02 viene normalmente usato è costruito intorno ad un amplificatore operazionale differenziale. La tensione di riferimento a 5,00 V in uscita dal circuito REF-02 viene inviata sull'ingresso con inversione, mentre il piedino 3 viene collegato all'ingresso senza inversione (–) dell'amplificatore operazionale. Il guadagno dell'amplificatore operazionale può essere regolato in modo che la tensione di uscita sia numericamente uguale al valore della temperatura. Questo tipo di termometro è facile da costruire e può essere usato per pilotare un voltmetro numerico, cosí da ottenere un'indicazione diretta della temperatura. La misura è lineare tra −55°C e +125°C, che è il campo utile di funzionamento del REF-02; questa proprietà rende il REF-02 un eccellente sostituto per i termistori, che non hanno un comportamento lineare.

Una analoga sorgente di tensione di riferimento è offerta dalla Motorola; si tratta dei circuiti integrati, denominati MC1404X e MC1504X, che hanno le stesse connessioni ai piedini del REF-02, ma sono racchiusi in un contenitore del tipo mini-DIP ad otto piedini, invece che in un contenitore metallico ad otto piedini come il REF-02. Questi dispositivi sono disponibili con tre diverse tensioni d'uscita: 10 V (MC1404U10); 6,25 V (MC1404J6); 5 V (MC1404U5).

Riferimenti di corrente - In alcune applicazioni è richiesto un riferimento di corrente anziché un riferimento di tensione. Se l'impedenza di carico è costante, una corrente di riferimento può essere generata applicando una tensione di riferimento nota ad un resistore fisso con basso coefficiente di temperatura. Nei casi in cui l'impedenza di carico può variare, deve essere usato un circuito di regolazione dinamica che compensi queste variazioni di temperatura. Alcuni di questi circuiti sono mostrati nella *fig. 7*.

Il semplice generatore di corrente costante mostrato nella *fig. 7-A* consiste in un FET a giunzione con base e collettore collegati insieme. Diversi costruttori di dispositivi a semiconduttore offrono "diodi" a corrente costante che in realtà sono simili ad un transistore JFET collegato come nella *fig. 7-A* ed inserito in un contenitore a due piedini. Il problema che si presenta con questo tipo di componente sta nel fatto che il valore di corrente è determinato dalle caratteristiche del JFET. Se si tenta di far variare la corrente collegando un resistore in serie con la sorgente, si annulla normalmente l'efficacia della regolazione.

Nella *fig. 7-B* è mostrato un circuito che impiega due transistori bipolari per assorbire una corrente costante. Questo circuito è stato costruito utilizzando transistori Motorola MPS6523, ma la sua stabilità termica potrebbe essere migliorata se si usasse un doppio transistore npn quale il MAT-01. La corrente di uscita I1 è approssimativamente pari a 0,6/R1; la corrente I2 è variabile, ma il suo valore piú conveniente è all'incirca 0,1 x I1.

Gli stabilizzatori di tensione REF-01 e REF-02 possono anche essere utilizzati per generare una corrente costante e possono sia assorbire sia erogare corrente, a seconda della configurazione circuitale adottata. I due circuiti sono uguali, eccetto che per la polarità (*fig. 7-C* e *fig. 7-D*). Nel caso in cui si usi il REF-01, la corrente di uscita è data dalla formula: (10/R) + 1. Poiché la corrente viene normalmente espressa in mA, è piú semplice esprimere R in kiloohm, evitando cosí di dover convertire il numero decimale che si ottiene dall'equazione.

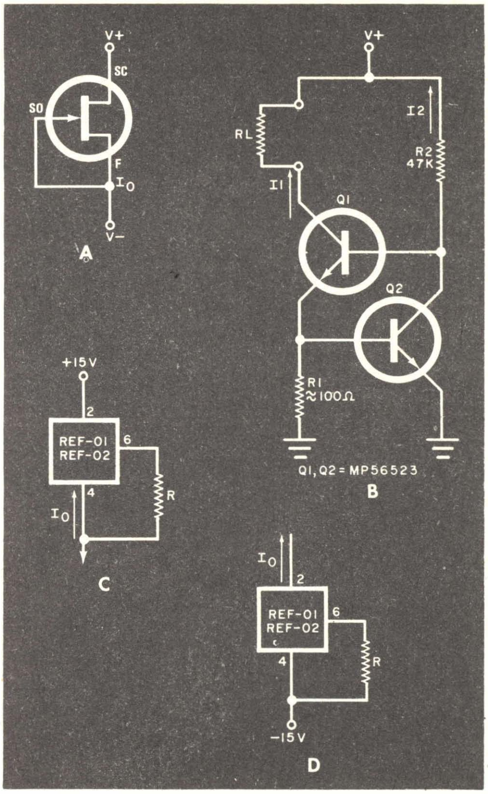


Fig. 7 - Sorgenti a corrente costante: (A) realizzata con un JFET; (B) con transistori bipolari; (C) ottenuta con un REF-01 che eroga corrente; (D) costruita con un REF-01 che assorbe corrente.

Conclusioni - Lo scopo di questo articolo era quello di presentare alcuni moderni dispositivi che possono essere usati per ottenere precisi riferimenti di tensione e corrente, da usare ad esempio in alimentatori stabilizzati, con una spesa relativamente modesta. Grazie a questi dispositivi le sorgenti di riferimento di tensione e di corrente non saranno piú patrimonio solo dei laboratori, come accadeva in passato. ★

CONTROLLO DELLA POTENZA CONTINUA CON LA MODULAZIONE A LARGHEZZA D'IMPULSI

Ordinariamente, la potenza continua viene controllata facendo cadere una parte della tensione disponibile ai capi di un resistore variabile o mediante l'uso di un transistore di transito controllato da un potenziometro. Questi metodi, anche se poco costosi, presentano due gravi inconvenienti: offrono un rendimento scarso, perché molta energia potenzialmente disponibile per il carico viene dissipata come calore dal transistore o dal resistore; inoltre, nel caso di un motore, l'avviamento risulta difficile, perché la coppia diminuisce con la velocità dello stesso motore.

In questo articolo verrà descritto come può essere impiegata a tale scopo la modulazione a larghezza di impulsi (PWM) e sarà presentato un circuito di controllo PWM funzionante, realizzabile con parti poco costose e facilmente reperibili.

Elementi basilari della PWM e dei motori - Nella *fig. 1* è rappresentato un circuito che dimostra il principio di funzionamento di un sistema PWM per il controllo della potenza. Esso è costituito da un alimentatore, composto da una batteria, da un interruttore S e da un motore in continua. Durante l'intervallo T_{OFF} l'interruttore S è aperto e il motore non riceve tensione (o corrente) dall'alimentazione; durante l'intervallo T_{ON} l'interruttore è chiuso, il motore riceve tutta la tensione di alimentazione e assorbe dall'alimentatore la massima corrente (ammesso

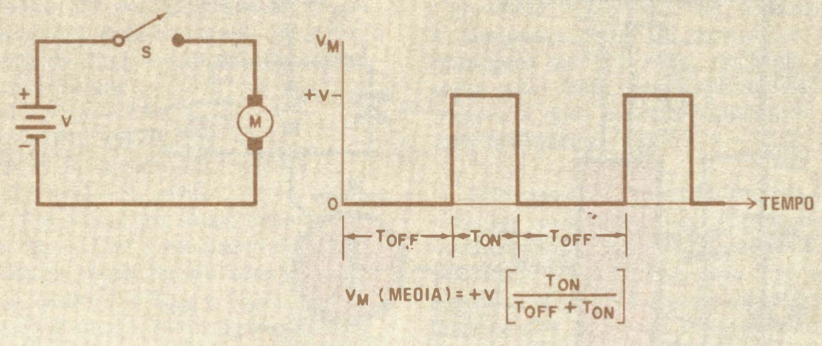


Fig. 1 - Nella PWM basilare, l'interruttore S viene commutato per creare un treno di impulsi continui ai capi del motore. Quanto più lungo è il tempo T_{ON} tanto più alta è la tensione media ai capi del motore e tanto maggiore la velocità a cui esso gira.

che non vi sia un carico imposto al motore). Alla lunga, la tensione media applicata ai capi del motore è determinata dal rapporto $T_{ON}/(T_{OFF} + T_{ON})$.

La velocità di un motore in continua è soprattutto stabilita dalla tensione media ai capi della bobina del rotore (o dalla corrente media che scorre in essa) e dall'intensità del campo magnetico che circonda l'armatura e la bobina rotanti. Un aumento della tensione applicata o del campo magnetico o di entrambi provocherà un aumento della velocità del motore. Nella maggior parte dei piccoli motori, il campo magnetico viene generato da un magnete permanente ed è quindi fisso.

L'entità della coppia (forza di torsione) che un motore genera e cosí pure la sua potenza, che mette in relazione la coppia con il tempo, sono anch'esse influenzate dalla tensione applicata e dal campo magnetico circostante. Un aumento dell'una o dell'altra o di entrambe provocherà un aumento della coppia e della potenza. La coppia è importante se il motore deve essere portato gradatamente in velocità da fermo, impresa questa quasi impossibile usando tecniche di tensione variabile ma semplice invece per un sistema di controllo PWM.

La relazione tra la coppia del motore e la corrente nel rotore e gli effetti delle costanti di tempo del motore rendono la PWM un mezzo efficace per controllare la velocità del motore. La costante di tempo meccanica di un motore è l'intervallo di tempo necessario per portare il motore da 0 giri al minuto al 63% della sua massima velocità di rotazione. Questa costante di tempo varia tipicamente da 5 ms a 200 ms e dipende dalle dimensioni e dalle caratteristiche di progetto del motore. La costante di tempo induttiva è l'intervallo di tempo che occorre perché la corrente nel rotore aumenti da zero al 63% del suo valore definitivo, circa 0,2 volte la costante di tempo meccanica.

Se l'intervallo T_{ON} dell'interruttore di controllo è piú breve della costante di tempo meccanica del motore, l'inerzia di quest'ultimo agirà come un dispositivo di media e il motore ruoterà a una velocità inferiore a quella massima che esso può raggiungere. Si tenga presente, inoltre, che la coppia che un motore può generare è proporzionale alla tensione applicata e all'intensità della corrente che scorre nell'avvolgimento del rotore. Applicando quindi al motore impulsi di tensione di ampiezza costante, è possibile ottenere una coppia elevata anche a basse velocità. Gli impulsi devono essere abbastanza lunghi da consentire alla corrente del rotore di portarsi ad un valore notevole, ma sufficientemente brevi (o sufficientemente distanziati) in modo che il motore non possa raggiungere la sua massima velocità oppure che la tensione media sia bassa.

Ciò permette un avviamento dolce di un motore in continua, cosa che raramente si ottiene usando il controllo a tensione variabile. In un sistema a tensione variabile in

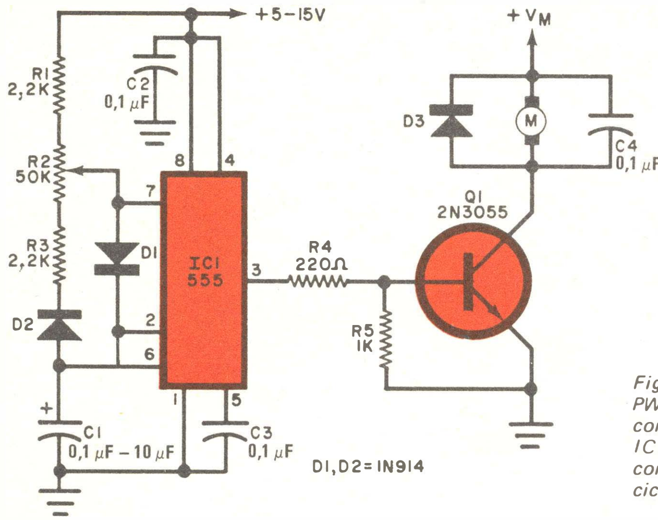


Fig. 2 - Sistema di controllo PWM per carichi alimentati in continua. Il temporizzatore IC1 genera un treno di impulsi con periodo costante, ma con ciclo di lavoro variabile.

genere il controllo di velocità del motore deve essere avanzato fino a far scorrere abbastanza corrente nel rotore (e a generare una coppia sufficiente) per "liberare" il motore. Quando poi quest'ultimo comincia a girare, la sua velocità diventa talmente grande che l'operatore deve assolutamente portare indietro il controllo per rallentare il motore. Se però si riduce troppo la posizione del controllo, il motore si fermerà.

Molti appassionati di modellini ferroviari o di altro tipo sanno per esperienza quanto sia difficile fare un buon avviamento e mantenere il controllo a basse velocità. Per questi dilettanti, la PWM è una soluzione ideale. Descriviamo quindi un sistema di controllo PWM funzionante, che può essere usato con carichi di parecchi ampere c.c.

Sistema di controllo PWM - Questo sistema (*fig. 2*) impiega il ben noto temporizzatore IC 555 funzionante nel modo astabile, però presenta una particolarità: il multivibratore produce onde quadre di frequenza costante, ma con cicli di lavoro variabili. Ciò è reso possibile dall'aggiunta di due diodi di commutazione al silicio, D1 e D2, e si verifica nel modo seguente.

Supponendo che C1 sia inizialmente scarico, l'uscita dell'IC (piedino 3) rimane bassa, mentre il condensatore comincia a caricarsi verso la tensione positiva d'alimentazione. Il condensatore riceve la carica attraverso R1 e il cursore del potenziometro, che chiameremo R2A. Il diodo D1 è polarizzato in senso diretto e praticamente collega l'armatura positiva del condensatore al cursore di R2. Il diodo D2 invece è polarizzato in senso inverso e isola l'armatura positiva del condensatore dal resistore R3 e dall'altra sezione del potenziometro, che chiameremo R2B.

Quando C1 si è caricato ai due terzi della tensione positiva d'alimentazione, un flip-flop interno all'IC si commuta e contemporaneamente manda alto il piedino 3 e basso il piedino 7. Il condensatore poi comincia a scaricarsi attraverso D2 (che diventa polarizzato in senso diretto), R3 e R2B. A questo punto il diodo D1 è polarizzato in senso inverso e rappresenta un circuito aperto. La scarica continua fino a che la tensione ai capi del condensatore diminuisce, portandosi a un terzo della tensione d'alimentazione; allora il flip-flop interno si commuta e fa diventare basso il piedino 3 e alto il piedino 7. Il condensatore C1 comincia quindi a ricaricarsi verso i due terzi della tensione d'alimentazione e il ciclo si ripete.

All'uscita dell'IC temporizzatore appare un treno di impulsi molto simile alla forma d'onda rappresentata nella *fig. 1*. L'interval-

lo T_{OFF} corrisponde al tempo in cui il piedino 3 è basso e l'intervallo T_{ON} al periodo in cui il piedino 3 è alto. Sostituendo i nomi assegnati ai componenti con quelli che si trovano nei fogli dei dati forniti dai fabbricanti per il 555, si trova che:

$$T_{ON} = 0{,}7(R1 + R2A)C1$$
$$T_{OFF} = 0{,}7(R3 + R2B)C1$$
$$T = 0{,}7(C1)(R1 + R2A + R3 + R2B) =$$
$$= 0{,}7(C1)(R1 + R2 + R3)$$

nella quale T è il periodo totale della forma d'onda d'uscita e cioè il reciproco della frequenza d'uscita. Esaminando queste equazioni, si può vedere che T_{ON} e T_{OFF} variano con la posizione di R2, ma il periodo totale della forma d'onda, e quindi la sua frequenza, non cambiano.

Con i valori specificati per i componenti, il ciclo di lavoro della forma d'onda:

$$\frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}}$$

varia, in relazione con la posizione di R2, da circa il 5% al 95% del periodo totale della forma d'onda. Tale periodo deve essere circa il doppio della costante meccanica del motore, valore che non sempre è noto per i motori di tipo economico. In questo caso, basta fare qualche esperimento con il valore di C1 finché si ottiene il risultato desiderato. Come regola generale, quanto piú piccolo è il motore, tanto minore è la capacità necessaria.

Per C1 nello schema è indicata una capacità compresa tra 0,1 μF e 10 μF. Trascurando le tolleranze, il periodo della forma d'onda d'uscita, usando un condensatore da 0,1 μF, sarà di 0,0038 s e la sua frequenza di 263 Hz. Se il valore di C1 è di 10 μF, il periodo sarà di 0,38 s e la frequenza di 2,63 Hz. I valori di R1, R2 e R3 si possono variare, ma quello dei due resistori fissi non deve essere inferiore a 1 kΩ.

Un temporizzatore 555 può assorbire o erogare fino a 200 mA di corrente, piú che sufficiente per alcuni piccoli motori; per aumentare la flessibilità del circuito è stato però aggiunto un transistore pilota di alta potenza (Q1), il quale riceve il pilotaggio di base dall'IC temporizzatore attraverso R4. Il transistore alternativamente conduce e non conduce al passo con l'uscita di IC1, comportandosi come un commutatore per controllare il funzionamento del motore.

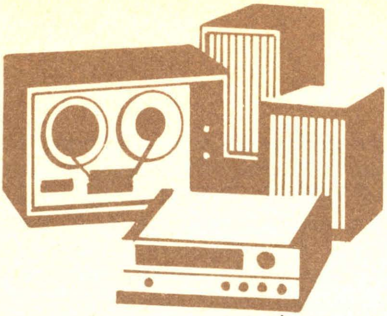
Il diodo D3 ha una duplice funzione: non solo protegge Q1 contro le punte induttive generate ai capi dell'avvolgimento del motore, ma si comporta come un diodo "volano"; esso, cioè, shunta il motore durante l'intervallo T_{OFF}, quando il motore stesso si comporta come un generatore. Il diodo impiegato per D3 deve essere in grado di sopportare metà della corrente assorbita dal motore e deve avere un'opportuna tensione inversa di picco.

Altri sistemi - Esistono molti sistemi per ottenere un treno di impulsi con ciclo di lavoro variabile; il circuito con l'IC 555 che abbiamo presentato è uno dei tanti. Ad esempio, si potrebbe usare un multivibratore astabile che ecciti un multivibratore monostabile con larghezza dell'impulso d'uscita variabile. La resistenza variabile nel circuito a un colpo potrebbe essere programmata usando un commutatore rotante, oppure un commutatore unito ad un decodificatore da BCD a decimale e ad un gruppo di resistori fissi. Ciò consentirebbe la scelta di una tra tante velocità del motore anziché un controllo variabile con continuità.

Un microelaboratore potrebbe essere programmato per fornire un treno di impulsi con ciclo di lavoro variabile; tuttavia, a causa della limitata possibilità dei microelaboratori di fornire corrente, è consigliabile collegare un piccolo transistore n-p-n (di tipo 2N2222 o simile) a Q1 nella configurazione Darlington, oppure sostituire Q1 con un dispositivo Darlington di potenza.

La modulazione a larghezza di impulsi può essere usata per controllare carichi diversi dai motori. Ad esempio, il motore della *fig. 2* può essere sostituito da una lampadina, eliminando il diodo volano.

In tal caso il circuito diventa un efficiente attenuatore di luce in continua (i familiari attenuatori di lampade in alternata funzionano su questo principio, impiegando tiristori come commutatori di potenza). Usando la PWM si possono ottenere cadute di tensione, specialmente se non è necessario che la tensione di caduta sia molto pura. Basta sostituire la lampada con il carico che si vuole alimentare e regolare R2 fino a che ai capi del carico non si verifica la caduta di tensione desiderata. Il collegamento di un buon condensatore di filtro ai capi del carico spianerà la tensione continua. Inoltre, quanto piú alta è la frequenza del treno di impulsi che pilota il transistore tanto piú facile risulta spianare la tensione continua in un'accettabile tensione d'alimentazione. ★



Panoramica Stereo

COME MIGLIORARE LE POSSIBILITA' DEGLI IMPIANTI AD ALTA FEDELTA'

E' ormai noto a quasi tutti gli audiofili che, per poter godere di un buon ascolto, è necessario disporre i diffusori acustici in maniera da potersi sistemare all'incirca a metà fra essi. Similmente, è altrettanto vero che, orientando un altoparlante in modo che il suono da esso prodotto si diriga verso una poltrona molto imbottita invece che verso la posizione in cui deve avvenire l'ascolto, si ottiene un suono apparentemente carente di toni alti. E' tuttavia sorprendente constatare quante volte queste regole cosí semplici siano violate. La questione non meriterebbe di essere discussa sulle pagine di una rivista rivolta ad un pubblico dotato di conoscenze tecniche, se si trattasse semplicemente di un errore marginale in un contesto molto piú complesso. Ma, pur se ciò può sembrare strano, anche persone esperte di alta fedeltà cadono talvolta in errori del tipo di quello messo in discussione.

La disposizione migliore per i diffusori acustici - Chi è intenzionato ad ottenere dal proprio impianto di riproduzione sonora le migliori prestazioni possibili dovrebbe tenere presente che la migliore disposizione dei diffusori acustici e la migliore collocazione dell'ascoltatore, determinate ai fini di un ascolto ottimale, risultano in genere incompatibili con le regole seguite normalmente nell'arredamento di interni. A rendere la situazione ancora piú complicata, contribuisce il fatto che non vi sono norme pratiche che stabiliscano quale sia la posizione migliore. Un noto esperto di acustica ha osservato che è possibile determinare teoricamente in modo quasi esatto il comportamento dell'acustica di una stanza fintantoché essa è vuota. Ma è sufficiente piazzare in essa una sola sedia per rendere l'intero problema estremamente indeterminato. Esistono tuttavia alcune regole generali che possono servire da guida.

I diffusori acustici si comportano generalmente in maniera ambivalente nei confronti delle pareti (e, da quanto risulta, anche nei confronti dei pavimenti e dei soffitti). Mentre la collocazione di un diffusore in prossimità di una delle pareti di una stanza può aumentare il carico acustico dello stesso (e quindi la sua efficienza), le onde sonore riflesse dalla superficie vicina possono dar luogo a fenomeni di interferenza, provocando cioè sia rinforzi sia cancellazioni sonore alle varie frequenze, e rendendo pertanto non uniforme la curva di risposta.

Alcune ditte costruttrici di diffusori acustici, tenendo conto di questo effetto, hanno realizzato diffusori progettati in maniera tale da sfruttare il fenomeno di caricamento prodotto dalla presenza di angoli o di spigoli nell'ambiente d'ascolto, senza che la risposta in frequenza subisca degradazioni. Un'altra soluzione vantaggiosa è quella di ricorrere a diffusori da scaffale che, quando sono installati in mezzo a dei libri, e disposti a livello dei loro dorsi, sfruttano positivamente l'esistenza di una sola parete, della quale fanno effettivamente parte.

Ma le pareti delle stanze danno luogo ad un altro fenomeno: riflettono vicendevolmente le onde sonore in avanti ed all'indietro provocando l'insorgere di risonanze, a frequenze che dipendono dalle distanze intercorrenti fra le pareti medesime. L'effetto provocato dalla presenza di tali risonanze dell'ambiente d'ascolto è quello di creare picchi ed avvallamenti nella risposta in frequenza della stanza medesima. In effetti, in un ambiente perfettamente riflettente vi sono frequenze alle quali il suono non può propagarsi e frequenze a cui le onde sonore sono in grado di propagarsi per periodi prolungati. Queste onde stazionarie (o "modi" di ambiente) cadono sufficientemente vicino le une alle altre alle frequenze medio-basse ed al di sopra di queste non provocano alcun problema in quasi tutti gli ambienti di ascolto. Nella regione inferiore dei toni bassi, invece, esse possono creare grossi inconve-

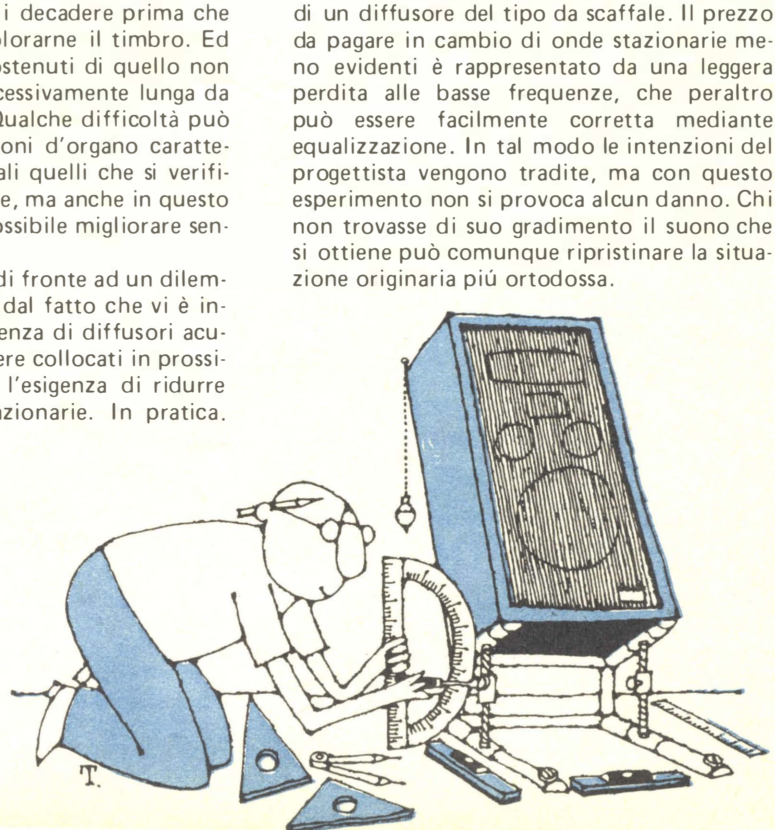
nienti.

La miglior difesa che si può adottare contro le onde stazionarie si basa sulla scelta della stanza. Se quest'ultima è grande a sufficienza, i "modi" si sovrappongono nella regione dei bassi piú profondi e causano inconvenienti soltanto in corrispondenza delle frequenze infrasonore. Se possibile, si deve evitare l'ascolto in una camera che abbia due pareti di dimensioni uguali, oppure l'una multipla dell'altra. Un ambiente di ascolto cubico poi, in cui i tre insiemi di "modi", associati ognuno ad una dimensione, coincidono, si rivelerebbe un disastro.

Dal momento però che non è possibile scegliere liberamente la forma e le dimensioni dell'ambiente in cui effettuare la riproduzione sonora, torniamo a considerare la disposizione dei diffusori acustici per vedere se una scelta opportuna della stessa può servire a controllare i "modi" naturali della stanza. In effetti ciò è possibile qualora le sorgenti sonore vengano poste lontano dalle pareti della stanza, contribuendo in tal modo a trasferire energia acustica ai "modi" in maniera relativamente lenta. Cosí facendo, un suono transitorio, come ad esempio un colpo di tamburo basso, può effettivamente avere tutto il tempo di decadere prima che la stanza cominci a colorarne il timbro. Ed anche toni bassi piú sostenuti di quello non avranno una durata eccessivamente lunga da creare inconvenienti. Qualche difficoltà può provenire invece da suoni d'organo caratterizzati da transitori quali quelli che si verificano inserendo il pedale, ma anche in questo caso dovrebbe essere possibile migliorare sensibilmente il suono.

A questo punto si è di fronte ad un dilemma apparente, causato dal fatto che vi è incompatibilità fra l'esistenza di diffusori acustici, progettati per essere collocati in prossimità di una parete, e l'esigenza di ridurre l'entità delle onde stazionarie. In pratica. tuttavia, questa contraddizione non si verifica quasi mai. Il motivo di ciò risiede nel fatto che le onde stazionarie provocano gli inconvenienti maggiori entro stanze di piccole dimensioni, nelle quali, proprio a causa delle dimensioni ridotte, è assolutamente sconsigliabile l'impiego di diffusori quali le trombe per angolo, che provocherebbero eccitazione di "modi" in maniera eccessiva. Viceversa, in un ambiente di dimensioni sufficientemente grandi da poter ospitare senza problemi una tromba del tipo studiato per angolo, la presenza dei "modi" rappresenta un inconveniente estremamente limitato.

Se un problema esiste, esso si verifica nel caso dei diffusori progettati per essere installati con il woofer in corrispondenza dello spigolo formato dalla parete e dal pavimento. La posizione per la quale il diffusore è progettato risulta spesso la migliore per camere di dimensioni ragionevolmente grandi; ma nei casi in cui l'esistenza dei "modi" propri rappresenta un problema, è possibile ottenere una riproduzione sonora migliore allontanando i diffusori acustici dalle pareti. Con il woofer ancora piazzato in prossimità del pavimento, l'effetto di caricamento risulta simile a quello che si verifica nel caso di un diffusore del tipo da scaffale. Il prezzo da pagare in cambio di onde stazionarie meno evidenti è rappresentato da una leggera perdita alle basse frequenze, che peraltro può essere facilmente corretta mediante equalizzazione. In tal modo le intenzioni del progettista vengono tradite, ma con questo esperimento non si provoca alcun danno. Chi non trovasse di suo gradimento il suono che si ottiene può comunque ripristinare la situazione originaria piú ortodossa.



Vediamo ora come occorre comportarsi quando si ha a che fare con il diffusore con altoparlanti anteriori. Questo tipo di diffusore è simile all'altoparlante da scaffale, ma risulta difficile da installare in modo che gli altoparlanti si trovino allo stesso livello delle pareti della stanza; vi sarà cosí un'onda riflessa che perturba la risposta in frequenza. Se il diffusore è sistemato con il suo lato posteriore disposto contro una parete, l'effetto di cancellazione che viene cosí provocato tende a manifestarsi nella regione dei medio-bassi. La frequenza di cancellazione risulta determinata come la frequenza alla quale la distanza fra l'altoparlante e la parete è pari ad un quarto della lunghezza d'onda. Se quindi fosse possibile aumentare la distanza che intercorre fra l'altoparlante e la parete piú vicina, portandola a circa 152 cm, la cancellazione si manifesterebbe a circa 56 Hz.

Lo spostamento del disturbo entro la regione inferiore dello spettro sonoro offre qualche vantaggio. La presenza di onde stazionarie inizia in ogni caso a perturbare la risposta in frequenza in questa zona, e con un po' di perseveranza è possibile far sí che i due fenomeni, cioè quello della cancellazione e quello delle onde stazionarie, si neutralizzino a vicenda.

Se si vuole evitare che il rinforzamento e la cancellazione del suono si assommino, è molto importante che non vi sia nessun diffusore situato alla medesima distanza da due o piú pareti.

Non si dimentichi poi che il pavimento riflette il suono quasi quanto le pareti. Servendosi degli appositi sostegni, è possibile regolare comodamente la distanza fra il pavimento ed i woofer. Talvolta per collocare il woofer ad una certa distanza dal pavimento è sufficiente capovolgere il diffusore; questa tecnica può essere adottata finché l'altoparlante per gli acuti (e quello per i medi) può essere mantenuto approssimativamente al livello delle orecchie.

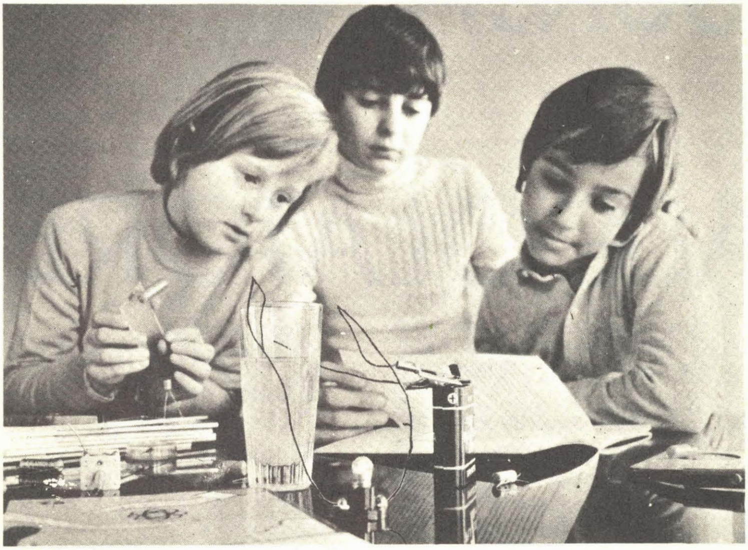
I compromessi - Naturalmente tutto ciò di cui si è discusso fino ad ora risulta del tutto inattuabile qualora la messa in opera delle situazioni proposte produca come risultato un ambiente inabitabile e poco piacevole. E' però possibile ricorrere ad alcuni compromessi, senza provocare inconvenienti troppo gravi alla qualità del suono riprodotto.

La prima cosa da tener presente è che i picchi e gli avvallamenti prodotti dalle riflessioni sono limitati a valori compresi entro ± 3 dB; si tratta quindi di un disturbo scarsamente avvertibile all'ascolto, a meno che non si verifichino coincidenze di due o di tre di essi, nel qual caso si avrebbero effetti disturbatori di entità doppia o tripla. Per questo motivo, se è necessario collocare un diffusore contro una parete o comunque troppo vicino ad essa, si cerchi di mantenerlo in una posizione che disti alquanto da una seconda parete. Inoltre, anche se una disposizione simmetrica dei diffusori produce effetti benefici sul bilanciamento fra i canali e sull'immagine stereofonica, risulta piú conveniente, ai fini della qualità sonora, se la simmetria non è proprio perfetta; si eviteranno cosí ondulazioni di ± 6 dB o ± 9 dB.

E' anche possibile sfruttare la distribuzione di onde stazionarie, che si stabilisce nell'ambiente in cui avviene l'ascolto, per regolare il bilanciamento fra i toni bassi ed i toni alti dei diffusori; oppure dimostrare senza troppe difficoltà che, in corrispondenza delle pareti della stanza (intese, in senso lato, come confini di questa), si verificano antinodi (cioè punti di massima ampiezza del campo di onde stazionarie). Per questo motivo un ascoltatore seduto in prossimità di una parete udrà un suono probabilmente piú ricco di toni bassi di quello che può essere percepito da un'altra persona che si trovi nel centro della stanza. Dopo aver collocato gli altoparlanti, può essere conveniente scegliere esattamente la posizione migliore in cui effettuare l'ascolto tenendo presente tale fenomeno.

Tutte queste osservazioni possono far pensare che l'installazione dei componenti in un ambiente d'ascolto sia un'impresa ardua, che richiede molte ore di sperimentazione; in linea generale ciò è vero, ma parte degli sforzi necessari dipendono in misura rilevante dalla propria pignoleria e dal grado con cui si intende sfruttare il proprio impianto di riproduzione sonora. Le soddisfazioni che si possono ottenere giustificano comunque gli sforzi compiuti. Si tenga infine presente che, se pur rinnovando il proprio impianto con nuovi modelli di apparecchiature continuano a verificarsi inconvenienti molto simili tra loro, può darsi che i problemi siano dovuti essenzialmente alle caratteristiche dell'ambiente in cui si effettua l'ascolto. ★

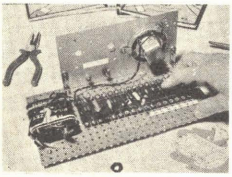
ELETTRONICA



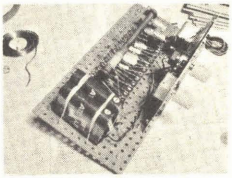
scienza o magia?

Due fili in un bicchiere d'acqua e... la lampadina si accende.
È opera di un mago? No.
Potrà essere opera vostra quando avrete esplorato a fondo i misteri di una scienza affascinante: l'**ELETTRONICA.**
Chi, al giorno d'oggi, non desidera esplorare questo campo?
Addentratevi dunque nei segreti dell'elettronica sotto la guida della **SCUOLA RADIO ELETTRA,** che propone oggi un nuovo, interessante Corso per corrispondenza: **SPERIMENTATORE ELETTRONICO.**
Tutti possono trovare nel Corso innumerevoli spunti di passatempo o di specializzazione futura.

MONTERETE TRA L'ALTRO



UN ORGANO ELETTRONICO



UN RICEVITORE MA

Genitori, insegnanti, amici vedranno con sorpresa i ragazzi ottenere un'ottima preparazione tecnico-scientifica, senza fatica e divertendosi, grazie alle **16 appassionanti lezioni del Corso SPERIMENTATORE ELETTRONICO**
Queste, arricchite da **250 componenti.** permettono di compiere più di **70 esperimenti** e di realizzare apparecchi di alta qualità (fra gli altri, un organo elettronico, un interfono, un ricevitore MA, un giradischi) che **resteranno di proprietà dell'Allievo.**
E non c'è pericolo di scosse elettriche: tutti i circuiti funzionano con bassa tensione fornita da batterie da 4,5 volt.
Richiedete oggi stesso, senza alcun impegno da parte vostra, più ampie e dettagliate informazioni sul CORSO SPERIMENTATORE ELETTRONICO.

Scrivete alla

Presa d'atto Ministero della Pubblica Istruzione N. 1391

Scuola Radio Elettra
10126 Torino - Via Stellone 5/ 633
Tel. (011) 674432

LE LEZIONI ED I MATERIALI SONO INVIATI PER CORRISPONDENZA

MUSICA AL CALCOLATORE

1ª parte

Il presente articolo, suddiviso in due parti, è dedicato alla musica generata mediante un calcolatore.

Tale genere di musica può rappresentare una piacevole distrazione, un'interessante dimostrazione delle possibilità di un calcolatore o addirittura un'ossessione, a seconda delle inclinazioni personali. Si inizia la trattazione presentando ciò che il calcolatore è in grado di fare per quanto riguarda l'esecuzione della musica, quindi si passerà ad esaminare il problema della composizione da parte del calcolatore stesso.

Un poco di storia - La musica monofonica, un genere musicale di tipo estremamente semplice, non è altro che una successione di toni con frequenze e durate diverse. Nel corso degli anni sono stati studiati svariati metodi per ottenere da un calcolatore la formazione diretta dei toni musicali o il comando di dispositivi generatori di note.

Il sistema piú curioso per ottenere come prodotto finale l'emissione di note musicali è probabilmente quello usato da un programma per calcolatore IBM 1401, che sfruttava la stampante in linea. Le stampanti per calcolatori funzionano grosso modo come una macchina da scrivere, cioè si fa colpire la carta da un martelletto metallico, comandato in questo caso dal calcolatore; ogni volta che la carta è colpita, viene emesso un impulso sonoro.

Nel calcolatore 1401 la stampante era collegata in modo tale che il programma potesse controllare con precisione l'istante in cui il martelletto veniva azionato; scegliendo la giusta cadenza di battitura per una riga di 120 martelletti, si riusciva a generare una nota. Variando la durata dell'intervallo tra la battuta di un martelletto e quella del successivo, si ottenevano note con frequenza diversa. Durante l'esecuzione di un brano musicale, ottenuto con questo programma, il suono è risultato piuttosto aspro, ma intonato.

Un altro modo insolito per ottenere suoni musicali da un calcolatore si basa sull'uso di un normale radioricevitore per modulazione d'ampiezza funzionante sulle onde medie. I moderni circuiti logici impiegati nei calcolatori generano impulsi che hanno un tempo di salita di circa 10 ns; la ripidità di questi fronti di salita ha come conseguenza l'esistenza di armoniche ad alta frequenza, che possono cadere nella gamma di sintonia del ricevitore radio. Le armoniche sono separate tra loro con un intervallo pari alla frequenza di ripetizione degli impulsi. Un ricevitore per modulazione d'ampiezza interpreta le armoniche che cadono nella sua banda passante come un segnale composto da una portante e da bande laterali, disposte una al di sopra e l'altra al di sotto della portante stessa; tale segnale è equivalente a quello che si ottiene con una portante con modulazione audio, avente frequenza pari alla cadenza di ripetizione degli impulsi.

Differenti istruzioni di programma determinano la comparsa di impulsi in punti diversi del calcolatore; in tal modo è possibile stendere programmi che vengono eseguiti ciclicamente con cadenza precisa ed opportunamente scelta, ottenendo quindi toni a frequenze diverse. Un problema presentato da questo metodo è l'impossibilità di silenziare il ricevitore per brevi pause della musica o anche solo nell'intervallo tra due note identiche.

Un modo piú naturale per ottenere segnali sonori in uscita da un calcolatore consiste nel collegare un altoparlante ad uno dei bit

di una porta d'uscita. Una nota può cosí essere programmata mandando alternativamente il bit a 0 e a 1, con un programma ciclico (loop) la cui durata di ripetizione sia scelta con cura. Questo tipo di procedura presenta il vantaggio di poter silenziare l'altoparlante quando lo si desidera. Un modello di calcolatore (il LINC) incorpora persino, come equipaggiamento standard, un altoparlante con relativo comando di volume, collegato ad un bit del registro accumulatore. Alcuni sistemi di calcolo messi insieme dai dilettanti fanno uso di tastiere che contengono un altoparlante; questo serve normalmente per segnalare con un "click" che un carattere è stato accettato in ingresso o per emettere un "bip" quando viene rivelato un errore. Questi altoparlanti potranno benissimo essere sfruttati come "terminali musicali".

I metodi descritti possono essere utilizzati per interessanti dimostrazioni e non richiedono l'uso di circuitistica speciale, ma non sono certo adatti per realizzazioni musicali di un certo impegno. Nel corso dei primi esperimenti sulla musica elettronica risultò presto evidente che qualsiasi forma d'onda musicale poteva essere rappresentata come una serie molto rapida di valori di tensione diversi tra loro; una serie di numeri può essere facilmente convertita in una serie di tensioni, e perciò in un segnale audio, mediante un convertitore numerico/analogico collegato al calcolatore. Le forme d'onda possono allora essere calcolate direttamente ed è cosí possibile produrre ogni possibile suono o nota. Alcuni risultati musicalmente interessanti sono stati ottenuti proprio con tale sistema. Il metodo citato, pur se ha il vantaggio di avere una validità estremamente generale, presenta l'inconveniente di richiedere un impressionante numero di calcoli anche per la generazione del piú semplice brano musicale.

Il piú recente sistema per ottenere musica da un calcolatore consiste nell'interfacciarlo ad un sintetizzatore di suoni, come l'ARP ed il Moog. L'ampiezza, la frequenza e la composizione spettrale dei toni emessi da un sintetizzatore sono regolati mediante tensioni di comando. Contrariamente a quanto accade per la forma d'onda musicale vera e propria, le tensioni di comando cambiano normalmente in modo piuttosto lento. Questo metodo riduce perciò enormemente il carico di operazioni che il calcolatore deve eseguire. Un convertitore numerico/analogico multiplato su una dozzina o piú di uscite, per altrettante tensioni di comando, può essere costruito con una spesa non eccessiva e le tensioni di comando possono essere portate al sintetizzatore con normali cordoni audio.

Tecniche con programmi ciclici temporizzati - Esaminiamo ora l'uso di programmi ci-

Fig. 1 - Esempio di sottoprogramma generatore di toni per microprocessore 8080.

```
                       *     ENTER WITH THE FREQUENCY PARAMETER IN C
                       *     ENTER WITH THE DURATION PARAMETER IN D & E                 CLOCK
                       *     USES SPEAKER CONNECTED TO ANY BIT OF OUTPUT PORT           CYCLES

000:100 076 000     TONE     MVI  A,0          OUTPUT ZERO TO SPEAKER                    (7)
000:102 232 XXX              OUT  (port address)                                         (10)
000:104 101                  MOV  B,C          MOVE FREQ. PARAMETER TO                   (5)
000:105 005         DELAY1   DCR  B            B AND USE AS A DELAY COUNT                (5)
000:106 302 105 000          JNZ  DELAY1       DELAY 15 X FREQ. PARAMETER CLOCK CYCLES   (10)
000:111 033                  DCX  D            DECREMENT DURATION PARAMETER              (5)
000:112 172                  MOV  A,D          TEST IF DECREMENTED TO ZERO               (5)
000:113 263                  ORA  E                                                      (4)
000:114 312 136 000          JZ   RETURN       GO RETURN IF SO, CONTINUE IF NOT          (10)
000:117 076 377              MVI  A,377Q       OUTPUT ONE TO SPEAKER                     (7)
000:121 323 XXX              OUT  (port address)                                         (10)
000:123 101                  MOV  B,C          DELAY AS ABOVE                            (5)
000:124 005         DELAY2   DCR  B                                                      (5)
000:125 302 124 000          JNZ  DELAY2                                                 (10)
000:130 033                  DCX  D            DECREMENT AND TEST DURATION AS ABOVE      (5)
000:131 172                  MOV  A,D                                                    (5)
000:132 263                  ORA  E                                                      (4)
000:133 302 100 000          JNZ  TONE         LOOP BACK FOR ANOTHER SQUARE WAVE CYCLE   (10)
000:136 311         RETURN   RET               RETURN TO MAIN PROGRAM
```

Nota	Frequenza (Hz)	Periodo (μs)
Do (centrale)	261,62	3822,3
Do#	277,18	3607,8
Re	293,66	3405,3
Re#	311,13	3214,2
Mi	329,63	3033,8
Fa	349,23	2863,5
Fa#	369,99	2702,8
Sol	391,99	2551,1
Sol#	415,30	2407,9
La	440,00	2272,8
La#	466,16	2145,2
Si	493,88	2024,8
Do	523,25	1911,2
Do#	554,37	1803,9
Re	587,33	1702,7
Re#	622,25	1607,1
Mi	659,26	1516,9
Fa	698,46	1431,8
Fa#	739,99	1351,4
Sol	783,99	1275,6
Sol#	830,61	1204,0
La	880,00	1136,4
La#	932,33	1072,6
Si	987,77	1012,4
Do	1046,5	955,58

Fig. 2 - Tabella delle note musicali.

clici o a loop per generare note singole con un calcolatore. I due parametri principali di un segnale musicale sono l'altezza e il ritmo; curiosamente, questi sono anche i due soli elementi che si possono fissare con precisione in un programma per musica al calcolatore, basato sull'impiego di sottoprogrammi ciclici. L'altezza di un suono è determinata dalla sua frequenza in periodi al secondo (Hertz) ed il ritmo dalla durata relativa delle singole note o toni. Il calcolatore usato per questa applicazione deve avere una frequenza di temporizzazione (clock) molto precisa; la maggior parte dei calcolatori, compresi quelli per usi dilettantistici, usa allo scopo un oscillatore a cristallo, che fornisce una frequenza di ciclo molto stabile e precisa.

Il componente principale di un programma musicale a sottoprogrammi ciclici è il sottoprogramma per la generazione delle note. La frequenza della nota e la sua durata vengono fornite a questo sottoprogramma come due variabili d'ingresso. La parte fondamentale del sottoprogramma consiste in due loop; la variabile "frequenza" determina il numero di volte che viene eseguito il loop interno e la variabile "durata" il numero di esecuzioni del loop esterno. Si noti che in questo caso la variabile denominata "frequenza" è in realtà proporzionale al periodo della forma d'onda voluta, mentre la "durata" viene espressa come numero di periodi della forma d'onda che si intende far emettere prima di passare alla nota successiva.

Un sottoprogramma generatore di note per il microprocessore 8080 è mostrato nella *fig. 1*; esso genera un'onda quadra perfettamente simmetrica mediante l'uso di due identici sottoprogrammi ciclici, posti all'interno del sottoprogramma principale. Per stabilire il valore da assegnare all'argomento che determina la frequenza, è necessario prima contare i cicli di "clock" usati dal sottoprogramma ciclico interno e dalle istruzioni di "intestazione" poste immediatamente davanti. L'intestazione risulta in questo caso di 46 periodi ed il sottoprogramma richiede un numero di cicli pari a 15 volte il valore del parametro che determina la frequenza. Supponendo che il microprocessore 8080 lavori a piena velocità (0,5 μs per ciclo di temporizzazione), senza tempi di attesa per l'accesso

Fig. 3 - Notazioni fondamentali per il linguaggio musicale NOTRAN.

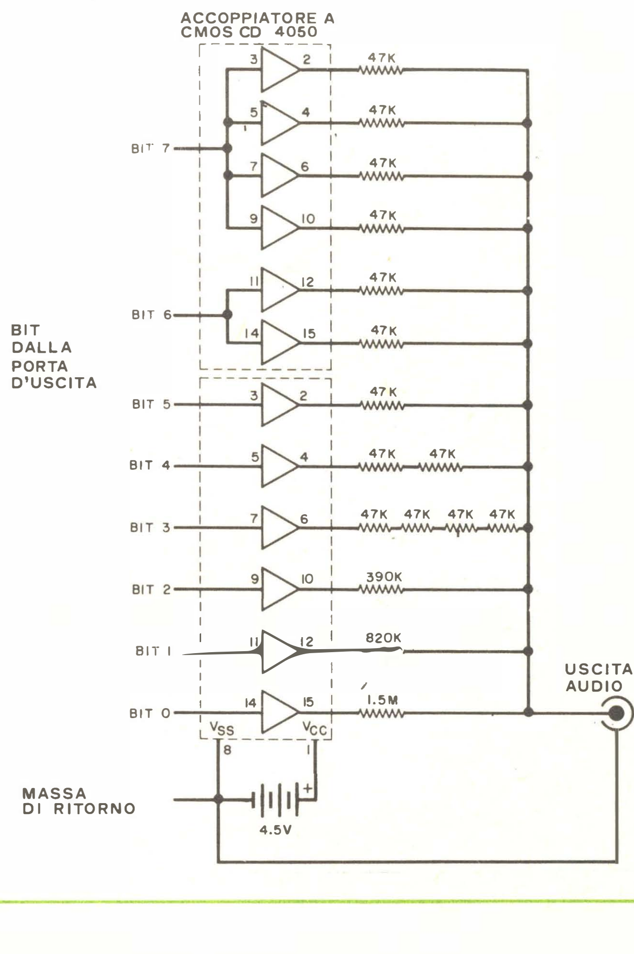
1. **Istruzione di TEMPO**
   Esempio: TEMPO 1/4 = 500
   TEMPO è il codice di identificazione.
   1/4 significa una semiminima.
   500 è la durata di una semiminima in millisecondi.
2. **Istruzione di Nota**
   Esempio: 1 Do # 4,1/8
   1 si riferisce al registro 1 (opzionale).
   Do è il nome della nota; # sta per diesis; (il bemolle invece è indicato con il segno @).
   4 è il numero dell'ottava; Do4 è il Do centrale; 1/8 indica una croma.
3. **Istruzione di pausa (Rest)**
   Esempio: R,1/2
   R significa pausa.
   1/2 indica una pausa della durata di una minima.
4. **Per musica monofonica:** una istruzione di linea.

in memoria, il tempo necessario per un semiperiodo dell'onda quadra è di $23 + 7{,}5N\ \mu s$, dove N è il parametro che stabilisce la frequenza; un periodo completo del tono musicale sarà lungo il doppio, mentre la frequenza sarà ovviamente l'inverso del periodo stesso. Se si usa il sottoprogramma precedentemente illustrato, il parametro N dovrà essere compreso tra 1 e 255; se N viene posto pari a zero, esso sarà interpretato come 256. Di conseguenza, la frequenza piú bassa che sarà possibile generare sarà di $500.000/(23 + 7{,}5 \times 256) = 257{,}33$ Hz. La tabella della *fig. 2* servirà per determinare il valore di N richiesto da ciascuna nota.

Il parametro che determina la durata della nota esprime invece il numero di semiperiodi della forma d'onda che devono essere emessi prima di richiudere il loop del sottoprogramma ciclico esterno. Di conseguenza, il valore dell'argomento da introdurre nel programma è funzione sia della durata desiderata per la nota, sia dell'altezza di quest'ultima, secondo la formula: $M = 2Tf$, dove M è il valore dell'argomento in questione, T la durata in secondi e f la frequenza in Hertz; il fattore 2 sta a significare che in ciascun periodo vi sono due semionde. Si noti che il sottoprogramma presentato nella *fig. 1* usa per la durata un argomento in duplice precisione, in modo da poter generare anche note lunghe.

Per usare questo sottoprogramma in un piú ampio programma musicale basterà richiamarlo, specificando gli argomenti che determinano la frequenza e la durata, per ciascuna nota che si desidera far emettere. Si dovrà avere l'accortezza di introdurre un breve periodo di silenzio tra due note successive aventi la medesima frequenza, per

Fig. 4 - Semplice convertitore numerico/analogico a 8 bit.



```
                        *       CONNECT SPEAKER TO ANY BIT OF OUTPUT PORT

000:000 021 000 000  WHITEN  LXI  D,0              SET D & E TO ZERO
000:003 041 001 000          LXI  H,1              RET SHIFT REG.  IN H & L NON-ZERO
000:006 174          LOOP    MOV  A,H              OUTPUT UPPER 8 BITS OF SHIFT REGISTER
000:007 323 XXX              OUT  (port address)   AS A SET OF RANDOM BITS
000:011 017                  RRC                   FORM EXCLUSIVE-OR OF SHIFT REGISTER
000:012 254                  XRA  H                BITS 15,14,12, AND 3 IN BIT 0 OF A
000:013 017                  RRC
000:014 017                  RRC
000:015 254                  XRA  H
000:016 017                  RRC
000:017 255                  XRA  L
000:020 017                  RRC
000:021 017                  RRC
000:022 017                  RRC
000:023 346 001              ANI  1                ISOLATE BIT 0 OF A
000:025 051                  DAD  H                SHIFT SHIFT REGISTER LEFT 1
000:026 137                  MOV  E,A              AND BRING BIT 0 OF A INTO
000:027 031                  DAD  D                VACATED SHIFT REGISTER BIT 0
000:030 303 006 000          JMP  LOOP             LOOP

                 *      CONNECT SPEAKER TO ANY BIT OF OUTPUT PORT
                 *      A DIFFERENT SOUND WILL BE HEARD AT EACH BIT
```

Fig. 5 - Sottoprogramma generatore di rumore bianco per microprocessore 8080.

```
000:000 021 001 000  WEIRD  LXI  D,1              INITIALIZE
000:003 041 000.000         LXI  H,0
000:006 175          LOOP   MOV  A,L              CHANGE TO:  MOV A,H FOR 8 MORE SOUNDS
000:007 323 XXX             OUT  (port address)   OUTPUT TO SPEAKER
000:011 031                 DAD  D
000:012 322 006 000         JNC  LOOP
000:015 023                 INX  D
000:016 172                 MOV  A,D
000:017 263                 ORA  E
000:020 302 006 000         JNZ  LOOP
000:023 023                 INX  D
000:024 303 006 000         JMP  LOOP
```

Fig. 6 - Sottoprogramma generatore di suoni misteriosi per microprocessore 8080.

evitare che esse vengano emesse come una nota sola. In un programma molto semplice le note saranno semplicemente richiamate da una memoria in cui sono state precedentemente sistemate; piú interessante e complicata è invece la scrittura di un programma capace di accettare istruzioni scritte in un semplice "linguaggio musicale" e di calcolarsi da solo i due argomenti necessari a generare la nota (*fig. 3*). Con un programma del genere qualsiasi persona musicalmente dotata potrà passare al calcolatore le istruzioni necessarie a generare brani musicali.

Ulteriori perfezionamenti nella tecnica del programma ciclico - Per ottenere una musica dal suono piú piacevole, alla tecnica di base possono essere apportati alcuni perfezionamenti; ad esempio è possibile ottenere un leggero cambiamento del timbro variando il rapporto tra le durate della parte positiva e della parte negativa della forma d'onda. Questo obiettivo può essere semplicemente raggiunto inserendo alcune istruzioni di "nessuna operazione" in uno dei due sottoprogrammi ciclici interni; in seguito, si dovranno però anche ricalcolare i valori degli

argomenti che determinano le frequenze. Valori del rapporto sopra citato che conviene provare, poiché probabilmente daranno i migliori risultati, sono 1/3 e 1/4; con questi valori si otterranno forme d'onda aventi il vantaggio di non contenere armoniche divisibili rispettivamente per 3 e per 4.

Un'altra interessante prova che si può fare consiste nel migliorare la precisione in frequenza delle note generate dal programma; come esso è stato precedentemente presentato, l'incremento minimo di durata di ciascuna semionda è di 7,5 μs; di conseguenza, si hanno errori di approssimazione per la frequenza di ciascuna nota non completamente trascurabili, specialmente per le note piú elevate. Con l'inserzione di opportune istruzioni nell'intestazione del sottoprogramma, è però possibile ottenere una maggior precisione, con un errore massimo di 0,5 μs. In pratica si potranno scrivere 15 copie del sottoprogramma di generazione, ciascuna con istruzioni aggiuntive che aumentano la durata del numero necessario di cicli di temporizzazione. Per ottenere una data nota, si dovrà allora richiamare l'esatto sottoprogramma, con l'argomento di frequenza giusto.

Le note generate da un calcolatore possono essere rese piú naturali conferendo ad esse un certo inviluppo d'ampiezza; ciò è possibile facendo variare in modo conveniente il volume sonoro nel corso della nota. E' inoltre interessante poter agire sulla dinamica della musica (cioè far variare l'intensità del suono nel corso di un brano musicale). Per ottenere questi effetti è necessario aggiungere al calcolatore qualche circuito appositamente progettato.

Su una porta d'uscita, ad esempio, può essere montato il circuito della *fig. 4*, che può essere considerato un rudimentale convertitore numerico/analogico a 8 bit. Per ottenere i migliori risultati, i resistori da 47 kΩ dovranno essere del tipo a strato di carbone, con precisione nominale del 5% e provenienti dallo stesso lotto. Per alimentare il circuito viene usata una batteria, allo scopo di evitare possibili rumori provenienti dal sistema; all'uscita del circuito potrà essere collegato un qualunque amplificatore audio.

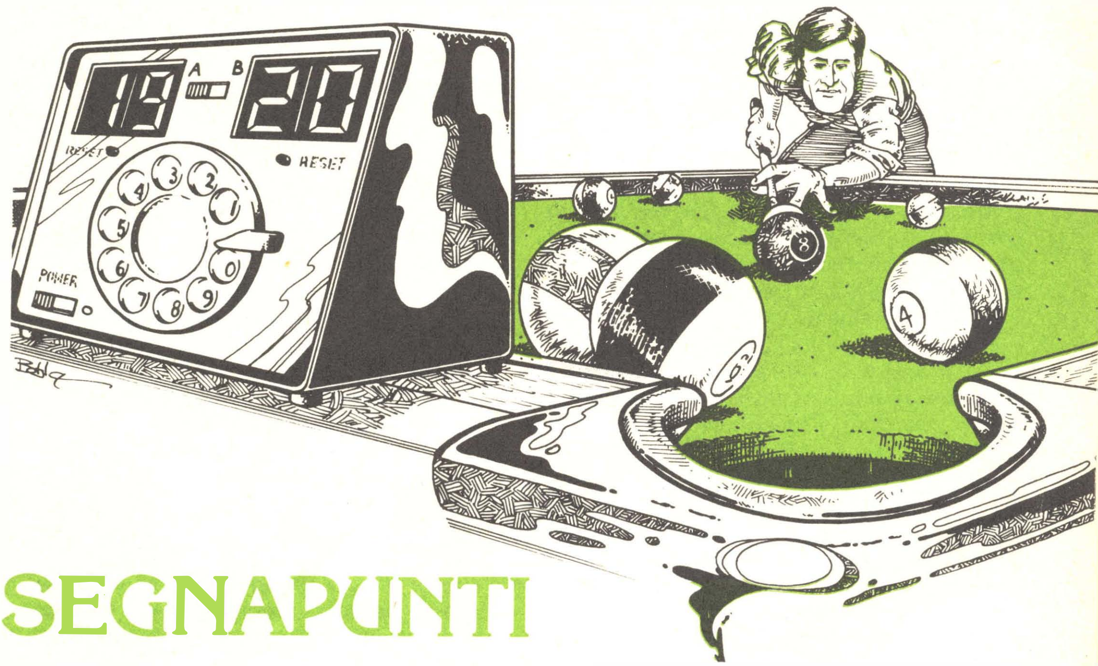
La tensione d'uscita continua di questo circuito è pari a 0,0176N V, dove N è l'ultimo numero binario inviato alla porta d'uscita. Si noti che nel sottoprogramma generatore di note i numeri 0 e 255 (decimale) venivano alternativamente inviati su una porta d'uscita per ottenere un'onda quadra; se alla porta viene collegato il circuito ora descritto, la tensione d'uscita passerà alternativamente da 0 a +4,5 V; se invece i numeri inviati all'uscita fossero 0 e 128, la forma d'onda passerebbe ciclicamente da 0 a 2,26 V. Quest'ultimo valore è solo la metà circa dell'ampiezza che si aveva nel caso precedente: la nota si udrà perciò meno forte. Una regolazione del volume può dunque essere effettuata cambiando semplicemente i valori inviati alla porta d'uscita dal sottoprogramma generatore di note.

Sfortunatamente è piuttosto difficile programmare gli inviluppi d'ampiezza di una nota nel corso della sua emissione, senza alterare la precisa cadenza dei tempi che genera la nota stessa. Con l'aumentare della complessità degli inviluppi si raggiunge presto un punto in cui lo sforzo richiesto per non alterare la temporizzazione diviene eccessivo. A questo punto è allora necessario ricorrere a circuiti appositamente progettati, che si occupino di generare la nota esonerando cosí il calcolatore da questo compito.

Esperimenti con altri suoni - Mediante un calcolatore è possibile generare altri generi di suoni; ad esempio, un flusso di bit casuali ad alta velocità rappresenta una buona fonte di rumore bianco. Nella *fig. 5* è mostrato un programma per microprocessore 8080 che genera tale tipo di rumore; i bit casuali sono prodotti simulando un registro a scorrimento a 16 stati, completato da un'opportuna via di reazione. Il rumore bianco può essere usato in un programma per la generazione di ritmi, allo scopo di simulare il suono del tamburo rullante.

Il programma della *fig. 6* crea alcuni suoni veramente originali; per conoscerlo meglio si potrà cominciare a provarlo, ascoltando i suoni che si ottengono su ciascuno dei 16 possibili bit di uscita; successivamente si potranno esaminare le varie istruzioni del programma per capire quali operazioni esso esegua; infine si potrà cercare di spiegare i suoni misteriosi che si ottengono al termine di ciascuna ripetizione.

Molti altri interessanti esperimenti possono essere portati a termine usando il semplice convertitore numerico/analogico precedentemente descritto, alcuni dei quali saranno trattati nella seconda parte dell'articolo. ★



SEGNAPUNTI ELETTRONICO per SALE DA GIOCO

Il segnapunti elettronico descritto in questo articolo elimina la necessità di ricorrere a carta e matita per segnare il punteggio dei concorrenti nello svolgimento di giochi di vario tipo. Tale segnapunti può tenere il punteggio di due giocatori cón un conteggio massimo di 99, ma, con qualche semplice modifica, sia il numero dei giocatori sia la gamma di conteggio si possono estendere a piacere. Nel circuito vengono usati dispositivi TTL facilmente reperibili e display numerici con LED a sette segmenti.

Il circuito - Poiché i circuiti per ciascun giocatore (A e B) sono identici tra loro, nella *fig. 1* ne è rappresentato uno solo. Quello dell'altro giocatore (cioè "B") va collegato al piedino d'uscita 6 della porta IC1B. I circuiti integrati IC4 e IC5 e il display DIS2 formano un convenzionale contatore a decade da 0 a 9 unità, la cui uscita di riporto sul piedino 8 di IC4 viene immessa ad un similare contatore di decine composto da IC2, IC3 e DIS1. I display DIS1 e DIS2 sono del tipo a LED ad anodo comune.

Il conteggio del circuito rappresentato nella *fig. 1* si può aumentare come si desidera, aggiungendo semplicemente altri contatori a decade; in questo caso, l'entrata di ciascun contatore aggiunto si collega all'uscita di riporto del contatore precedente e le linee di rimessa si collegano in comune.

Entrambi i contatori a decade della *fig. 1* vengono messi a zero azionando l'interrut-

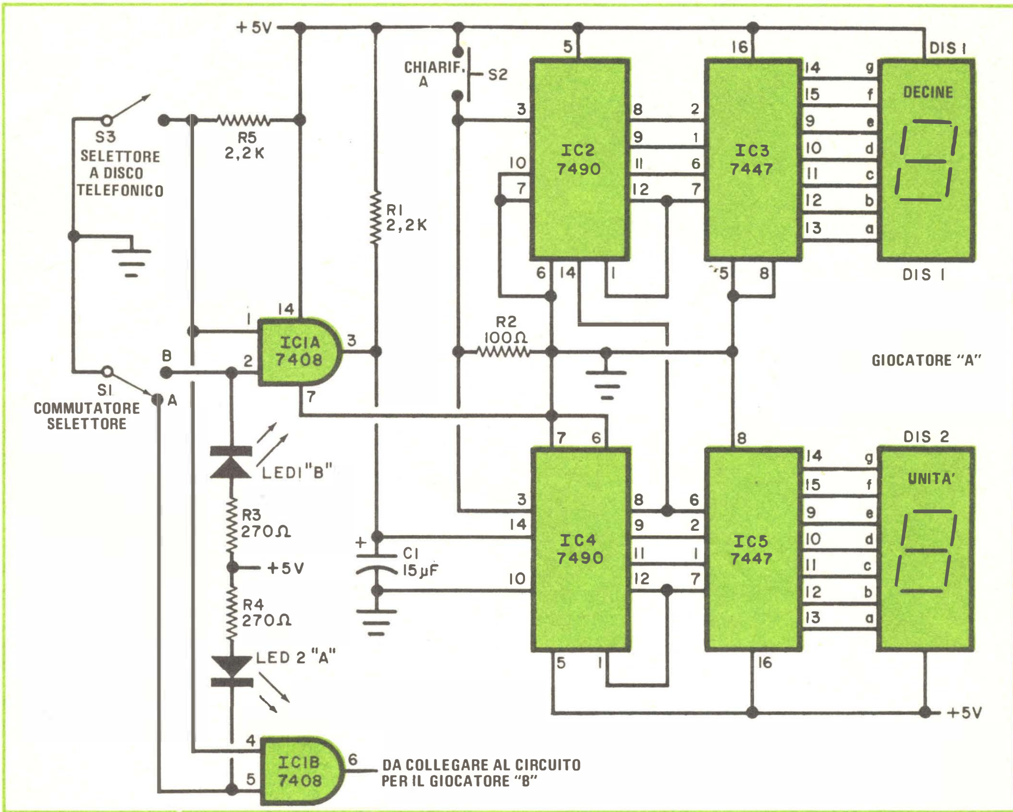


Fig. 1 - Lo schema mostra il circuito segnapunti relativo a un solo giocatore.

MATERIALE OCCORRENTE

C1 = condensatore elettrolitico da 15 μF - 15 V
DIS1-DIS2 = display a sette segmenti con LED ad anodo comune
IC1 = porta AND quadrupla 7408
IC2-IC4 = contatori a decade 7490
IC3-IC5 = decodificatori da BCD a 7 segmenti 7447
LED1-LED2 = LED rossi comuni
R1-R5 = resistori da 2,2 kΩ - 1/2 W
R2 = resistore da 100 Ω - 1/2 W
R3-R4 = resistori da 270 Ω - 1/2 W
S1 = commutatore a 1 via e 2 posizioni
S2 = interruttore a pulsante normalmente aperto
S3 = meccanismo selettore telefonico a disco (ved. testo)
Altro circuito per il giocatore B, alimentatore stabilizzato da 5 Vc.c., circuito stampato o basetta perforata, scatola adatta, zoccoli per gli IC (facoltativi), filo per collegamenti, stagno, lettere trasferibili a secco, minuterie di montaggio e varie.

Per l'acquisto dei materiali rivolgersi alla ditta SVETI-MAR - via L. Bellardi 126 10146 Torino.

tore a pulsante di chiarificazione (o di rimessa a zero) S2 per portare momentaneamente alta l'entrata di rimessa a zero sul piedino 3 di IC2 e di IC4, riportandola poi a massa quando il pulsante viene rilasciato. Quando S2 viene premuto e poi rilasciato, entrambi i display dovrebbero indicare zero.

Il commutatore selettore S1 consente alla persona che tiene il punteggio di scegliere tra il giocatore A e il giocatore B per aumentare il punteggio indicato dal display. Quando viene scelta la posizione A, il piedino 5 di IC1B viene messo a massa e mantenuto basso facendo accendere il LED del giocatore A. A questo punto, l'uscita di IC1B è bassa e la porta non funziona. Di conseguenza non funziona nemmeno il contatore a decade del giocatore B.

Il piedino 1 di IC1A e il piedino 4 di IC1B sono portati alti dal resistore R5 e il commutatore meccanico selettore telefonico S3 è collegato tra la massa e questo punto comu-

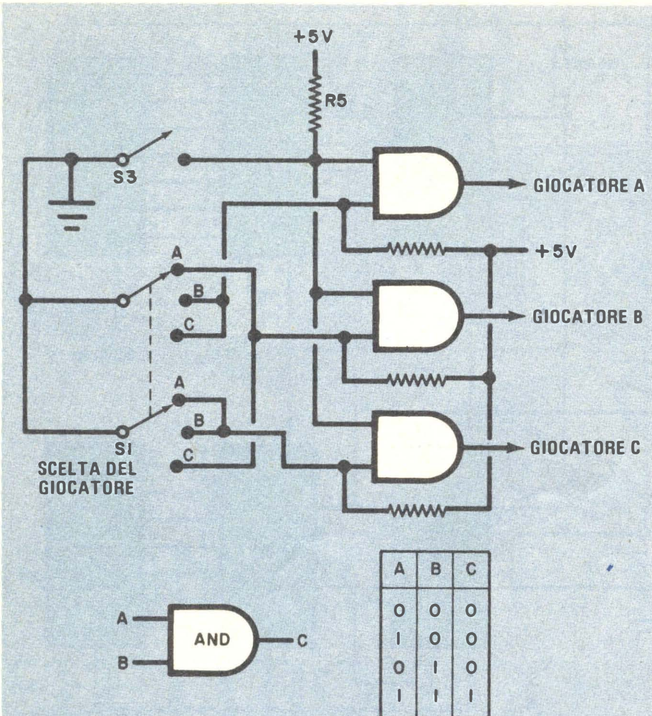


Fig. 2 - Un segnapunti per più di due persone si può realizzare usando porte AND e il sistema di commutazione rappresentato in questo schema, purché sia soddisfatta la tabella della verità.

ne (per S3 si può usare un complesso commutatore telefonico a disco, in modo da poter comodamente segnare i punti; oppure, per questa funzione, si può utilizzare un comune interruttore a pulsante normalmente aperto, il cui pulsante dovrà però essere azionato per ogni unità di punteggio).

Agendo su S3 si cortocircuita a massa il punto comune al piedino 1 di IC1A e al piedino 4 di IC1B per un numero di volte pari al numero selezionato sul disco telefonico. Quando il selettore a disco viene azionato, IC1A passa in conduzione e all'interdizione ad ogni chiusura dello stesso. Ciò genera uno o più impulsi d'entrata, in relazione con il numero formato sul disco, per il contatore a decade del giocatore A (presumendo cne S1 sia disposto in posizione A; il funzionamento è identico per il giocatore B, salvo che S1 deve essere portato in posizione B). Ogni volta che IC4 supera il punteggio al decimo impulso proveniente da IC1A, l'uscita di riporto di IC4 commuta il contatore a decade IC2.

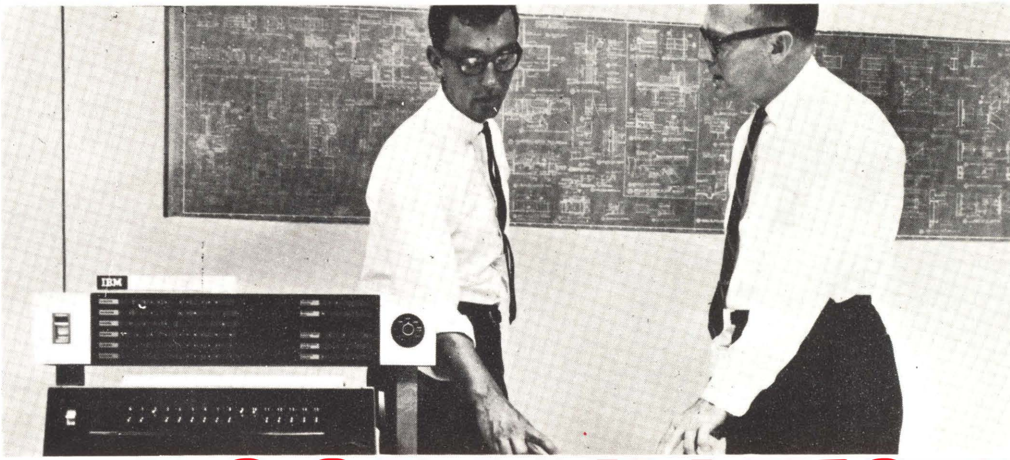
Come si vede nella *fig. 2*, il circuito della *fig. 1* si può espandere per segnare il punteggio di più di due giocatori. Si noti che non vengono usati LED distinti per ogni giocatore; utilizzando la porta AND e la tabella della verità della *fig. 2*, si possono progettare ulteriori commutazioni per aumentare il numero dei giocatori oltre i tre rappresentati nella stessa figura.

Costruzione - Non essendo critica la disposizione dei componenti, per il montaggio del dispositivo si può seguire qualsiasi tecnica costruttiva. L'impiego di un circuito stampato progettato personalmente è più comodo, ma è parimenti adatto il montaggio su basetta perforata. In entrambi i casi, si consiglia di fare uso di zoccoli per gli IC.

Dopo aver montato e controllato il circuito, lo si installi in una scatola in modo che le due coppie di display si possano vedere con facilità. Si montino quindi i LED e i commutatori, compreso il meccanismo selettore a disco, nella parte frontale della scatola. Infine, si usino lettere trasferibili a secco per contrassegnare i commutatori e i LED a seconda delle loro funzioni.

L'alimentazione del segnapunti si può ottenere con qualsiasi alimentatore che fornisca 5 Vc.c. stabilizzati e che sia in grado di erogare una corrente di 1 A o maggiore. ★

UNA PROFESSIONE NUOVISSIMA PER I GIOVANI CHE HANNO FRETTA DI AFFERMARSI E DI GUADAGNARE. MOLTO.



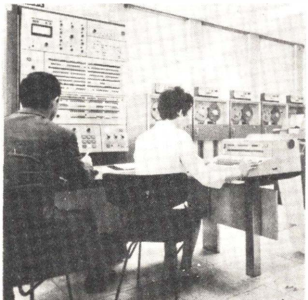
PRESA D'ATTO DEL MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE NUMERO 1391

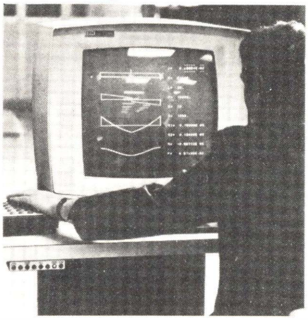
I PROGRAMMATORI

Davvero non c'è tempo da perdere. Entro i prossimi 5 anni saranno necessari almeno 100.000 tecnici qualificati nella Programmazione ed Elaborazione dei Dati, altrimenti migliaia di calcolatori elettronici, già installati, rischieranno di rimanere bloccati e inutilizzati.
Del resto, già oggi per le Aziende diventa difficile trovare dei giovani preparati in questo campo (basta guardare gli annunci sui giornali).

Per venire incontro alle continue richieste e per offrire ai giovani la possibilità di un impiego immediato, di uno stipendio superiore alla media e di una carriera rapidissima, la SCUOLA RADIO ELETTRA ha istituito un nuovissimo corso per corrispondenza:
PROGRAMMAZIONE SU ELABORATORI ELETTRONICI
In ogni settore dell'attività umana i calcolatori elettronici hanno assunto il ruolo di centri vitali, motori propulsori dell'intero andamento aziendale. Per questo non possono rimanere inattivi. E per questo le Aziende commerciali o industriali, pubbliche o private, si contendono (con stipendi sempre più alti) i giovani che sono in grado di "parlare" ai calcolatori e di sfruttarne in pieno le capacità.

LA SCUOLA RADIO ELETTRA VI FA DIVENTARE PROGRAMMATORI IN POCHI MESI.
Attenzione: a questo corso possono iscriversi tutti; non si richiede una preparazione precedente, ma solo attitudine alla logica.





Seguendo, a casa Vostra, il nostro corso di Programmazione su Elaboratori Elettronici, imparerete tutti i più moderni "segreti" sul "linguaggio" dei calcolatori. E li imparerete non con difficili e astratte nozioni, ma con lezioni pratiche e continui esempi. La Scuola Radio Elettra dispone infatti di un modernissimo e completo Centro Elettronico dove potrete fare un turno di pratica sulla Programmazione, che vi consentirà un immediato inserimento in una qualsiasi Azienda.
IMPORTANTE: al termine del corso la Scuola Radio Elettra rilascia un attestato da cui risulta la Vostra preparazione.
Nel Vostro interesse, richiedeteci subito maggiori informazioni.
Mandateci il vostro nome, cognome e indirizzo: vi forniremo, gratis e senza alcun impegno, una splendida e dettagliata documentazione a colori.

Scuola Radio Elettra
Via Stellone 5/633
10126 Torino

dolci



LE LEZIONI ED I MATERIALI SONO INVIATI PER CORRISPONDENZA